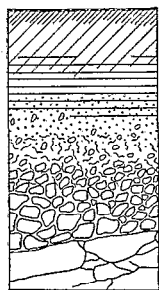


A. RUELLAN

Contribution à la connaissance des sols  
des régions méditerranéennes :

## LES SOLS A PROFIL CALCAIRE DIFFÉRENCIÉ DES PLAINES DE LA BASSE MOULOYA (MAROC ORIENTAL)



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ET TECHNIQUE OUTRE-MER





# ÉDITIONS DE L'OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

## RENSEIGNEMENTS, CONDITIONS DE VENTE

Pour tout renseignement, abonnement aux revues périodiques, achat d'ouvrages et de cartes, ou demande de catalogue, s'adresser à :

SERVICE CENTRAL DE DOCUMENTATION DE L'ORSTOM  
70-74, route d'Aulnay, 93 - BONDY (France)

— Tout paiement sera effectué par virement postal ou chèque bancaire barré, au nom du Régisseur des Recettes et Dépenses des SSC de l'ORSTOM, 70-74, route d'Aulnay, 93 - BONDY; compte courant postal n° 9.152-54 PARIS.

— Achat au comptant possible à la bibliothèque de l'ORSTOM, 24, rue Bayard, PARIS (8°).

## REVUES ET BULLETINS DE L'ORSTOM

### I. CAHIERS ORSTOM

#### a) Séries trimestrielles :

- Pédologie (I) — Sciences humaines
- Océanographie — Hydrologie
- Hydrobiologie — Entomologie médicale et Parasitologie

Abonnement: France 90 F; Etranger 110 F; le numéro 25 F

#### b) Série semestrielle :

- Géologie.

Abonnement : France 70 F; Etranger 75 F

#### c) Séries non encore périodiques :

- Biologie (3 ou 4 numéros par an)
- Géophysique

Prix selon les numéros

### II. BULLETINS ET INDEX BIBLIOGRAPHIQUES

- Bulletin analytique d'Entomologie médicale et vétérinaire Mensuel

Abonnement : France 70 F; Etranger : 80 F; le numéro 8 F

- Index bibliographique de Botanique tropicale Trimestriel

Abonnement : France 25 F; Etranger 30 F

I) Masson et Cie, 120, bd Saint-Germain, Paris-VI\* dépositaires de cette série à compter du vol. VIII, 1970. Abonnement étranger : 124 F.

### *récemment parus :*

**LES FORMATIONS SÉDIMENTAIRES TERTIAIRES ET QUATERNAIRES DE LA CUVETTE TCHADIENNE ET LES SOLS QUI EN DÉRIVENT**

407 p. + 2 cartes annexes (couleur) de J. PIAS ..... 165 F  
*Mémoires ORSTOM, n° 43.*

**LE MILIEU NATUREL DE LA CÔTE D'IVOIRE : GÉOMORPHOLOGIE, CLIMAT, RÉGIMES HYDROLOGIQUES, VÉGÉTATION, SOLS.** 391 p., 2

cartes (8 coup.) + 3 sous étui carton de J.M. AVENARD, M. EL DIN, G. GIRARD, J. SIRCOULON, P. TOUCHÉBEUF, J.L. GUILLAUMET, E. ADJANO HOUN, A. PERRAUD ..... 230 F  
*Mémoires ORSTOM, n° 50.*

### *du même auteur :*

**LES PHÉNOMÈNES D'ÉCHANGE DE CATIONS ET D'ANIONS DANS LES SOLS.** 124 p., de A. RUELLAN et J. DELETANG ..... 35 F

*Initiations / Documentations - Techniques n° 5.*

**CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DES SOLS  
DES RÉGIONS MÉDITERRANÉENNES**

**LES SOLS A PROFIL CALCAIRE DIFFÉRENCIÉ  
DES PLAINES DE LA BASSE MOULOYA  
(MAROC ORIENTAL)**

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants-droit ou ayants-cause, est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal.



MÉMOIRES ORSTOM N° 54

**Alain RUELLAN**

*Docteur ès Sciences Naturelles  
Maître de Recherches à l'O.R.S.T.O.M.*

**CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DES SOLS  
DES RÉGIONS MÉDITERRANÉENNES**

**LES SOLS  
A PROFIL CALCAIRE DIFFÉRENCIÉ  
DES PLAINES  
DE LA BASSE MOULOYA  
(MAROC ORIENTAL)**

**O R S T O M**

**PARIS**

**1971**

*A FRANÇOISE.*

*A la mémoire de CHRISTIAN MASSONI.*

---

# Sommaire

AVANT-PROPOS .....	II
INTRODUCTION .....	15
PREMIÈRE PARTIE : <i>les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya</i> .....	19
Chapitre premier : le cadre de la formation des sols .....	21
Chapitre II : l'organisation morphologique des sols .....	45
Chapitre III : les principaux caractères chimiques et minéralogiques des sols .....	83
Chapitre IV : la répartition des sols .....	95
DEUXIÈME PARTIE : <i>la place des sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya dans l'ensemble pédologique marocain</i> .....	113
Chapitre V : les sols des montagnes de la Basse Moulouya comparés à ceux des plaines .	115
Chapitre VI : les sols à profil calcaire différencié dans les différentes régions du Maroc...	137

TROISIÈME PARTIE : <i>l'interprétation pédogénétique des faits</i> .....	155
Chapitre VII : la formation au cours du Quaternaire des sols à profil calcaire différencié. .	157
CONCLUSIONS GÉNÉRALES .....	193
ANNEXES : <i>description et analyse de quelques sols de la Basse Moulouya</i> .....	199
BIBLIOGRAPHIE .....	285
TABLE DES MATIÈRES .....	293

---

## Avant-propos

*Le document que je présente ici a été lentement élaboré au cours des dix années que je viens d'avoir la chance de vivre au Maroc. J'ai maintenant quitté ce merveilleux pays, non sans peine, et c'est en tout premier lieu à lui, à son peuple hospitalier qui m'a si gentiment accueilli pendant tout ce temps, que je tiens à exprimer toute ma reconnaissance.*

*Mais c'est en fait bien loin du Maroc, au Brésil où j'ai passé toute mon adolescence, que se situent les sources de ma vocation pour les sciences de la nature. Mon père, le Professeur Francis Ruellan, sut m'y passionner très jeune pour la recherche ; il m'emmena souvent avec ses étudiants pour de longues expéditions géographiques au cours desquelles j'appris à découvrir et à comprendre les paysages et les hommes qui y vivent. Je dois aussi à mon père de m'avoir ensuite fait découvrir les méthodes fondamentales de la recherche scientifique et d'avoir guidé de près mes premiers pas dans cette voie. A lui, mais aussi à ma mère, qui nous accompagna si souvent sur le terrain, j'adresse ici mes très affectueuses pensées.*

*Quand le moment vint de choisir une carrière, je décidai de m'orienter vers la recherche pédologique et ses applications agronomiques ; j'avais, en effet, le désir d'être à la fois chercheur dans le domaine des sciences de la terre et technicien au service de l'agriculteur ; cette voie me parut la meilleure : je ne fus pas déçu. Je dois à mes professeurs de l'Ecole Nationale d'Agriculture de Rennes mes premières connaissances en pédologie ; je les dois surtout à M. le Professeur L. Berthois, qui m'apprit aussi que la recherche scientifique avait des exigences de rigueur, de ténacité et de continuité. Je veux l'en remercier aujourd'hui bien vivement.*

Le cadre de travail qui m'est offert depuis 1957 par l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer m'a permis de réaliser l'essentiel de mes souhaits et en particulier de rassembler les éléments nécessaires à l'élaboration du document que je présente ici.

Je tiens d'abord à en exprimer toute ma gratitude à M. A. Valabregue, Président de l'O.R.S.T.O.M., à M. le Professeur G. Camus, Directeur Général, à M. J. Severac, Secrétaire Général et à M. M. Gleizes, Secrétaire Général Adjoint : la sympathie qu'ils m'ont toujours témoignée et le soutien moral et matériel qu'ils ne m'ont jamais refusé, m'ont été très précieux ; cet ouvrage n'aurait certes pas pu être réalisé sans tous les moyens qu'ils ont bien voulu mettre à ma disposition et sans le cadre de travail efficace qu'ils ont su développer à l'O.R.S.T.O.M.

Mes Maîtres à l'O.R.S.T.O.M. furent et sont toujours, sans aucun doute, MM. G. Aubert, Président du Comité Technique de Pédologie, et S. Henin, Chef du Département d'Agronomie à l'Institut National de la Recherche Agronomique. Ils m'ont enseigné la pédologie et ses méthodes ; ils ont guidé de près mes travaux et en ont rectifié bien des erreurs de parcours ; ils m'ont toujours accordé avec amitié le temps nécessaire à la discussion de mes problèmes. Je leur en suis profondément reconnaissant.

Mes amis et camarades de l'O.R.S.T.O.M. qui m'ont aidé tout au cours de la réalisation de mes recherches sont nombreux. Je ne peux tous les citer. Je tiens cependant à remercier tout particulièrement MM. P. Billaux, G. Bocquier, J.-L. Geoffroy, M. Lamouroux, B. Lepoutre et P. Segalen qui ont si souvent accepté de discuter de mes travaux, de lire mes manuscrits, de me conseiller avec une amicale sévérité qui me fut très salutaire. Je remercie également M<sup>me</sup> M. Delaune et MM. A. Combeau, B. Dabin, C. Ollat, P. Pelloux et M. Pinta qui m'ont offert plusieurs fois leur concours et celui de leur laboratoire. Je désire aussi mentionner toute l'aide sympathique et dévouée que m'a toujours accordée le Personnel du Service Central de Documentation ; les planches-photos présentées dans ce mémoire, réalisées dans un temps record, sont un bel exemple de leur efficacité ; à MM. F. Bonnet-Dupeyron et C. R. Hiernaux, responsables de ce service, à M<sup>mes</sup> Massoni et Perrot, à M<sup>lle</sup> Dardenne et à M. Canal, j'adresse plus particulièrement toutes mes félicitations et mes sincères remerciements.

A mon ami Christian Massoni, enfin, j'aurais voulu aussi dire merci, du fond du cœur. Il fut mon ami pendant onze ans et mon compagnon de terrain pendant trois ans ; bien des résultats présentés dans ce travail ont été récoltés par lui. Je ne peux plus le remercier ; mais à lui, à Colette sa femme et à Patrick son fils, je dédie ce travail.

Au Maroc, les concours dont j'ai eu la chance de pouvoir bénéficier, en plus de ceux de l'O.R.S.T.O.M., furent nombreux.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma reconnaissance à tous les chefs de service, Marocains et Français, du Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire, sous les ordres desquels je fus placé successivement, à Berkane puis à Rabat. Ils ont su comprendre que le travail d'ingénieur qu'ils me confiaient ne me suffisait pas, que j'avais besoin de consacrer du temps à la recherche scientifique : MM. Ibrahimî, Secrétaire Général du Ministère, A. Bennis, H. Boumendil, M. Dadi, Y. Dehry, R. Orsini, M. Tahiri et M. Tensamani m'ont toujours accordé avec beaucoup de gentillesse le temps et les moyens qui m'étaient indispensables. Je remercie aussi M. Y. Burhin, chef du Centre des Expérimentations, qui m'a offert l'hospitalité de son service pendant plus d'un an.

Je n'aurais pas pu découvrir et apprendre à analyser les paysages marocains si je n'avais pas eu la chance de pouvoir profiter de la vaste connaissance du pays de quelques géographes. M. le Professeur J. Dresch accepta, malgré son emploi du temps toujours très chargé, de venir voir mon terrain ; son œil expert de géomorphologue me fit découvrir bien des faits nouveaux. M. le Professeur R. Raynal voulut bien, dès le début, suivre de près mes travaux ; il m'initia à l'étude du Quaternaire marocain, il vint souvent m'aider à faire l'analyse des paysages de la Basse Moulouya, il fut un auditeur patient et bienveillant de mes résultats et un conseiller efficace. Ma dette de reconnaissance est également particulièrement lourde envers mes amis G. Beaudet et G. Maurer avec qui j'ai étroitement collaboré pendant plusieurs années, J. Le Coz et J. Martin qui ne m'ont jamais refusé les multiples services et conseils que je leur ai demandés.

J'ai fréquemment eu besoin de l'assistance des géologues qui m'ont toujours accueilli avec bienveillance. C. Hamel, mort brusquement en 1969, me fit découvrir la géologie de la Basse Moulouya,

et je dois à M<sup>me</sup> L. Rousselle et à M. A. Michard d'avoir rafraîchi mes connaissances géologiques. M. A. Michard a bien voulu ensuite s'intéresser à mon travail et m'aider à en construire l'exposé ; sa curiosité m'a bien souvent obligé à préciser ma pensée ; je tiens à l'en remercier très vivement.

Parmi les pédologues du Maroc nombreux furent ceux qui ont bien voulu m'ouvrir les portes de leur terrain et de leur laboratoire et aussi me livrer leur opinion sur mes résultats. Grâce à eux j'ai plus vite connu les principaux paysages pédologiques du Maroc et pu éviter de nombreuses erreurs d'interprétation. Je tiens ainsi à remercier tout particulièrement MM. M. Baar, G. Bryssine, H. Faraj, J. Gasc, B. Heusch, J. Hubschman, G. John, M. Mehdaoui, A. Pujos, H. Ridouane, Y. Shawi, U. Schoen et J. Wilbert.

Je n'aurais garde d'oublier toutes les discussions enrichissantes que j'ai pu avoir avec M. J. Bou-laine, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Grignon. J'ai largement profité de sa grande expérience du milieu et des sols méditerranéens. Je lui dois également, ainsi qu'à M. N. Fedoroff, des études micromorphologiques qui m'ont été d'une grande utilité. M. R. Tavernier, Professeur à l'Université de Gand, fut aussi pour moi un puits de connaissances qu'il ne refusa jamais de mettre à ma disposition : je lui en suis très reconnaissant.

Quand en 1965, je décidai de tenter de présenter une thèse d'Etat, M. G. Aubert me conseilla d'aller voir à Strasbourg, M. le Doyen G. Millot, Directeur de l'Institut de Géologie. Ce fut un conseil extrêmement heureux, puisqu'il me permit de découvrir à Strasbourg non seulement un Patron de thèse qui ne mesura jamais le temps et les moyens qu'il consacra à mon travail, mais aussi l'équipe sympathique et efficace de ses collaborateurs qui ont tous eu la très grande gentillesse de me considérer immédiatement comme l'un des leurs.

A M. Georges Millot, j'exprime ma profonde reconnaissance et toute mon admiration : ma reconnaissance pour tout ce qu'il a fait, sur le plan scientifique comme sur le plan administratif, pour que je puisse présenter cette thèse ; mon admiration pour le travail magnifique qu'il accomplit sans relâche au service de la science mais aussi au service de tous ceux qui ont la chance d'être dans le champ, très vaste, de son rayonnement. J'ai eu cette chance et je ne l'oublierai pas.

Envers M<sup>lle</sup> Hélène Paquet ma dette de reconnaissance est également très lourde. Sa collaboration scientifique et matérielle et son amitié sans faille, m'ont été extrêmement précieuses.

A mes amis Gilbert Dunoyer de Segonzac, qui se donna tant de mal pour débrouiller mon « cas » universitaire, et Yves Tardy qui s'intéressa de près à mes résultats, j'adresse aussi tous mes remerciements.

Enfin, je ne peux terminer cet avant-propos sans avoir mentionné tout le travail accompli par ceux qui ont contribué à la réalisation matérielle de ce document. Les dessinateurs de l'Institut Scientifique Chérifien de Rabat, M<sup>me</sup> Billaux et MM. Rosselli et Roudiez, ainsi que M. Oppermann de l'Institut de Géologie de Strasbourg, ont traduit en figures soignées les croquis souvent compliqués que je leur ai fournis. M<sup>me</sup> Tobias assura avec courage et dextérité, une dactylographie rapide et consciencieuse. M<sup>me</sup> Boudergues de l'O.R.S.T.O.M. à Dakar et M. Hugel, de l'Institut de Géologie de Strasbourg apportèrent tous leurs soins au travail ingrat de la reproduction des stencils et des calques et de la mise en page de l'ensemble du document. Quant à Françoise Ruellan, je dirai seulement qu'elle connaît cette thèse « par cœur » ; cela prouve, s'il en est besoin, l'immensité du temps qu'elle y a consacré ; je lui dédie ce travail.

---

# Introduction

Au Maroc, comme dans tous les pays du pourtour de la Méditerranée, les sols contiennent souvent du calcaire, dans un ou plusieurs de leurs horizons. Ceci n'étonne pas quand on connaît la fréquence des carbonates dans les roches de ces régions et que l'on sait que les climats n'y sont, en général, guère favorables à un entraînement profond des solutions.

Dans les plaines de la Basse Moulouya, les sols contenant du calcaire sont présents partout. Ils ont été étudiés et cartographiés à plusieurs reprises, en particulier par BRYSSINE (1946), GAUCHER (1947), CHEVRON-VILETTE (1956), GEOFFROY (1959), HEUSCH (1960), MASSONI (1962, 1964), HUBSCHMAN (1967) et RUELLAN (1959, 1963, 1966). Diverses interprétations pédogénétiques ont, généralement, conduit ces auteurs à classer ces sols de la façon suivante :

- Une partie, parmi les sols rouges méditerranéens.

- La plupart, parmi les sols steppiques : ces sols, dont l'extension est grande dans la majorité des plaines et des vallées semi-arides du Maroc, rappellent en effet par nombre de leurs caractères, les sols châtaîns, les sols bruns et les sierozems des grandes plaines steppiques de Russie.

Dans le cadre de la classification d'AUBERT (1965 a et b), largement utilisée au Maroc, la plupart des sols des plaines de la Basse Moulouya se placent également à côté des sols steppiques de Russie. Une vaste classe regroupe en effet tous les sols que l'on qualifiait autrefois de steppiques : c'est la classe des sols isohumiques.

Rappelons brièvement ce que sont, d'après AUBERT, ces sols isohumiques :



1. UN SOL ISOHUMIQUE présente un profil A C ou A (B) C dans lequel le caractère principal est la répartition profonde d'une matière organique bien évoluée ; la teneur en humus décroît régulièrement et lentement avec la profondeur : c'est l'isohumisme. Ces sols, considérés comme typiques des zones climatiques à saison sèche accentuée, depuis le subhumide frais ou froid jusqu'à l'aride chaud, sont actuellement situés le plus souvent sous une végétation de steppe où dominent les graminées. C'est à cette végétation qu'est attribuée la plus grande part de l'isohumisme, résultat de la décomposition d'un système racinaire assez profond et qui se renouvelle fréquemment, alors que la matière végétale aérienne est peu abondante et rapidement minéralisée après sa mort ; une forte activité biologique contribue aussi à cette répartition de la matière organique en favorisant les échanges de matières entre la surface et la profondeur des sols. On pense depuis quelques années que certaines formations arbustives peuvent également être à l'origine d'une répartition isohumique, en particulier dans les régions méditerranéennes.

2. LES MÉCANISMES responsables de l'isohumisme sont, dans ces sols, les plus importants. Les autres mécanismes de différenciation en dépendent étroitement ; il s'agit surtout :

- du lessivage du calcaire des horizons de surface et de son accumulation en profondeur ;
- de l'augmentation de la teneur en argile dans l'horizon B, par altération et néoformation sur place ;
- de la structuration du sol et en particulier de celle de l'horizon B ;
- dans les pays chauds, de la rubéfaction de l'horizon B.

3. LA CLASSE DES SOLS ISOHUMIQUES (classe V) est subdivisée par AUBERT en quatre sous-classes :

— *La sous-classe 1* est celle des sols isohumiques à complexe partiellement désaturé. Ce sont les brunizems ou sols de la prairie ; ils ont surtout été décrits aux Etats-Unis.

— *La sous-classe 2* regroupe les sols isohumiques à complexe saturé, principalement en calcium, qui évoluent pendant une partie de l'année sous un climat très froid. Ces sols sont riches en matière organique. Ils ont surtout été étudiés en Russie où ils sont très largement représentés. En fonction de leur teneur en matière organique, de leur structure et de l'importance du lessivage du calcaire, ces sols sont répartis en quatre groupes : chernozems, sols châtaîns, sols bruns et sierozems.

— *La sous-classe 3* est celle des sols isohumiques à complexe saturé, principalement en calcium, qui évoluent pendant une partie assez courte de l'année (hiver) sous un climat frais et assez pluvieux, le reste de l'année étant chaud et très sec : ce sont les sols isohumiques des régions subtropicales et méditerranéennes ; ils ont été reconnus dans toutes les régions calcaires du Maroc. Par rapport à ceux de la sous-classe 2, ces sols sont nettement moins riches en matière organique, moins décarbonatés, et présentent fréquemment en profondeur un horizon B plus argileux. D'après leur teneur en matière organique, leur structure et le lessivage du calcaire, ces sols sont répartis en trois groupes :

*Les sols châtaîns subtropicaux* sont surtout présents dans les régions subhumides et semi-arides (les définitions des étages bioclimatiques sont celles d'EMBERGER, 1930, et SAUVAGE, 1960, 1963). Ils sont essentiellement caractérisés par :

- une teneur en matière organique encore assez forte : en général plus de 2% en surface ;
- un lessivage très marqué du calcaire : les horizons supérieurs ne sont pas ou sont peu calcaires sur 50 à 80 cm ; l'accumulation du calcaire est très nette ;
- une structure bien développée : elle est polyédrique à nuciforme en surface, parfois grumeleuse ; en profondeur, elle devient prismatique moyenne, puis polyédrique fine dans l'horizon d'accumulation du calcaire.

*Les sols bruns subtropicaux* se développent sous un climat plus sec et plus chaud que celui des sols châtaîns : ils sont fréquents dans les régions semi-arides et arides. Par rapport aux sols châtaîns, les sols bruns sont :

- moins riches en matière organique : il y en a en général moins de 2% en surface ;

— moins lessivés en calcaire : les horizons de surface sont souvent calcaires ; l'accumulation du calcaire commence moins profondément ;

— moins bien structurés : la structure, polyédrique à nuciforme en surface, est plus faible et peut être lamellaire sur quelques centimètres ; en profondeur, elle est polyédrique, parfois prismatique.

*Les sierozems subtropicaux* se situent dans des régions encore plus sèches et plus chaudes, arides et sahariennes. Leur teneur en matière organique est faible : moins de 1% en surface. Ils ne sont pas ou sont peu lessivés en calcaire et l'horizon B textural est absent. La structure, mal développée, est polyédrique à nuciforme, sauf tout à fait en surface où elle tend à être lamellaire.

— *La sous-classe 4*, enfin, regroupe les sols isohumiques à complexe saturé, principalement en calcium, qui évoluent sous un climat dont la saison des pluies, de courte durée, est chaude. Ce sont les sols bruns subarides décrits en Mauritanie, au Tchad, au Sénégal, assez pauvres en matière organique, très fréquemment rubéfiés.

\* \* \*

L'étude des sols isohumiques subtropicaux, châtaîns et bruns, situés dans les plaines quaternaires, alluviales et colluviales, de la Basse Moulouya, constitue l'essentiel du travail que je présente ici.

— *Dans une première partie*, après avoir brièvement décrit cette région, en insistant surtout sur les éléments du milieu qui peuvent y influencer la pédogenèse, je procéderai à une étude détaillée de ces sols isohumiques et de leur répartition en fonction des climats, du relief et de leur utilisation agricole. Cette analyse montrera surtout l'importance primordiale, dans ces sols, des divers aspects de la répartition et de la différenciation du calcaire : ceci m'amènera progressivement à ne plus parler de sols isohumiques, mais de sols à profil calcaire plus ou moins différencié.

— *Dans la deuxième partie*, le domaine de l'étude sera élargi. J'irai tout d'abord vers les massifs montagneux qui dominent les plaines de la Basse Moulouya : ceci me permettra de constater un certain nombre de ressemblances et de corrélations importantes entre les sols des deux domaines, situés respectivement à l'amont et à l'aval. J'étudierai ensuite sommairement, l'ensemble du Maroc et ce tour d'horizon montrera :

d'une part, la grande extension dans l'ensemble du pays, des sols à profil calcaire différencié : en effet, nous verrons alors que, dans ce grand groupe de sols, viennent prendre place, non seulement la plupart des sols isohumiques subtropicaux, mais aussi bien d'autres types de sols qui ne se distinguent des sols isohumiques que par des caractères apparemment secondaires ; c'est le cas en particulier de la majorité des sols calcomagnésimorphes et de certains sols rouges méditerranéens ;

d'autre part, les nombreuses variations pédologiques qui paraissent dépendre essentiellement de l'importance du calcium disponible dans les paysages et dans les sols ; il en est ainsi, bien sûr, de la différenciation du profil calcaire ; mais c'est le cas aussi du profil textural argileux et, en particulier, de la différenciation des horizons A<sub>2</sub>, du profil structural, des couleurs, du profil organique, de l'évolution du fer et des minéraux argileux.

— *Je tenterai enfin, dans une troisième partie*, un certain nombre d'interprétations concernant les mécanismes, les étapes et les facteurs de la formation, au cours du Quaternaire, de ces sols à profil calcaire différencié, dans les plaines de la Basse Moulouya et dans l'ensemble du Maroc. Ces interprétations m'amèneront en particulier à souligner :

l'importance des migrations latérales de matériaux et de solutions, au cours du développement des sols ;

les rôles fondamentaux qui reviennent au calcium et au régime hydrique particulier aux sols évoluant sous climat méditerranéen, dans l'orientation et le déroulement des mécanismes ;

l'actualité de la plupart de ces mécanismes, qui sont souvent très lents, mais dont l'action se poursuit normalement ; je montrerai que beaucoup de sols sont très vieux, mais que les vrais paléo-

sols témoins de milieux quaternaires nettement différents des milieux actuels, sont probablement rares au Maroc ;

les rôles importants des mécanismes pédologiques et des sols dans l'élaboration des faciès et des formes du Quaternaire ;

l'importance qui doit être attribuée au calcium et au calcaire dans la classification de ces sols.

\* \* \*

Les faits qui sont exposés et interprétés dans ce travail ont été rassemblés au cours des dix années que je viens de vivre au Maroc, de 1959 à 1969. Détaché auprès du ministère de l'Agriculture et de la Réforme agraire, j'eus pour mission principale, pendant ce séjour, l'étude expérimentale de l'utilisation des sols dans les régions irriguées.

La plus grande partie des observations de terrain, qui constituent les bases principales de mon étude, ont été recueillies pendant les cinq premières années, que j'ai passées à Berkane, au cœur même de la Basse Moulouya. De nombreux travaux de cartographie des sols, que j'ai eu la responsabilité de coordonner, ont été alors réalisés dans les plaines, en particulier par GEOFFROY (1959), MASSONI (1962, 1963, 1964), GASC, HUBSCHMAN et les équipes de la S.O.G.E.T.I.M. (1965) et par moi-même (1959, 1963). Plusieurs milliers de profils de sols ont été décrits et plusieurs dizaines de milliers d'analyses ont été effectuées dans divers laboratoires, à Berkane, à Rabat, à Bondy, à Lyon (les méthodes d'analyses utilisées sont décrites en annexe) : j'ai largement profité de cette masse énorme de résultats. C'est à cette époque également que j'ai étudié les sols des massifs montagneux et que j'ai commencé à visiter l'ensemble du Maroc.

Ce n'est cependant, qu'à partir de 1964, année de mon installation à Rabat que j'ai pu développer mes connaissances sur les paysages et sur les sols de l'ensemble du pays. De 1964 à 1969, j'ai effectué de nombreuses tournées, dans presque toutes les régions du Maroc, souvent en compagnie de pédologues, de géomorphologues, de géologues et de botanistes qui ont bien voulu me montrer les résultats de leurs travaux et me faire découvrir toutes les richesses naturelles de ce pays. C'est aussi à partir du moment où j'ai été installé à Rabat qu'il m'a été plus facile de développer des contacts avec un certain nombre de laboratoires spécialisés, qui m'ont alors fourni une aide importante et efficace : tel fut le cas, en particulier, des laboratoires de chimie des sols de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy, pour les analyses concernant le fer, des laboratoires de géologie de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy pour les études granulométriques et minéralogiques, des laboratoires de l'I.N.R.A. à Rabat et surtout de ceux de l'Institut de Géologie de Strasbourg pour l'étude des minéraux argileux, des laboratoires de pédologie de l'E.N.S.A. de Grignon pour les observations micromorphologiques.

*Première partie*

---

**LES SOLS A PROFIL CALCAIRE  
DIFFÉRENCIÉ DES PLAINES  
DE LA BASSE MOULOYA**

---

## Le cadre de la formation des sols

Situées à l'extrémité nord-est du Maroc, en frontière de l'Algérie, les plaines et les montagnes de la Basse Moulouya font partie de l'étroite frange méditerranéenne du Maroc oriental qui, tant sur le plan physique que sur le plan humain, s'oppose d'une façon nette, par sa richesse et la variété de ses paysages, à l'aridité et à la monotonie relative des vastes plaines et plateaux semi-désertiques qui s'étendent plus au sud.

Les limites géographiques de la Basse Moulouya ne sont pas les mêmes pour tous les auteurs. Pour RAYNAL (1961), c'est une vaste région dont la limite amont se situe au sud de Guercif. Par contre, pour le Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire du Royaume du Maroc, cette région agricole ne regroupe, à proximité de la Méditerranée, que deux dépressions synclinales, à peu près parallèles et orientées ouest-sud-ouest - est-nord-est (fig. 1 et 2) :

- au nord-ouest, la dépression du Gareb et du Bou Arg, largement ouverte sur la mer le long de la plaine de Bou Arg ;

- au sud-est, la dépression occupée par les plaines du Zebra et des Triffa, plus longue et moins ouverte aux influences marines.

En fait, seule cette dernière dépression fait réellement partie, et encore partiellement, du bassin de la Moulouya, et c'est surtout dans ces plaines du Zebra et des Triffa que j'ai effectué l'essentiel de mes recherches : à ces plaines et à leur encadrement montagneux est attribuée, dans ce travail, la dénomination de Basse Moulouya.

## I. L'ENVIRONNEMENT MONTAGNEUX

Trois ensembles montagneux délimitent et dominent les plaines synclinales du Zebra et des Triffa :

— Au sud, la chaîne jurassique des Bni Snassène, qui isole la Basse Moulouya des hauts plateaux arides ; elle se prolonge à l'ouest par le massif des Bni Bou Mahiou.

— Au nord, la petite chaîne rifaine des Kebdana, relayée à l'ouest par la chaîne des Kerker.

— A l'est, en Algérie, le petit massif volcanique, miocène et quaternaire, du Mzirda, au pied duquel coule l'oued Kiss qui constitue, depuis Ahfir jusqu'à Saïdia, la frontière entre les deux pays. Je n'ai pas pu visiter ce massif, situé en zone militaire ; ceci n'est cependant pas grave, car son influence sur l'évolution de la plaine des Triffa semble avoir été limitée.

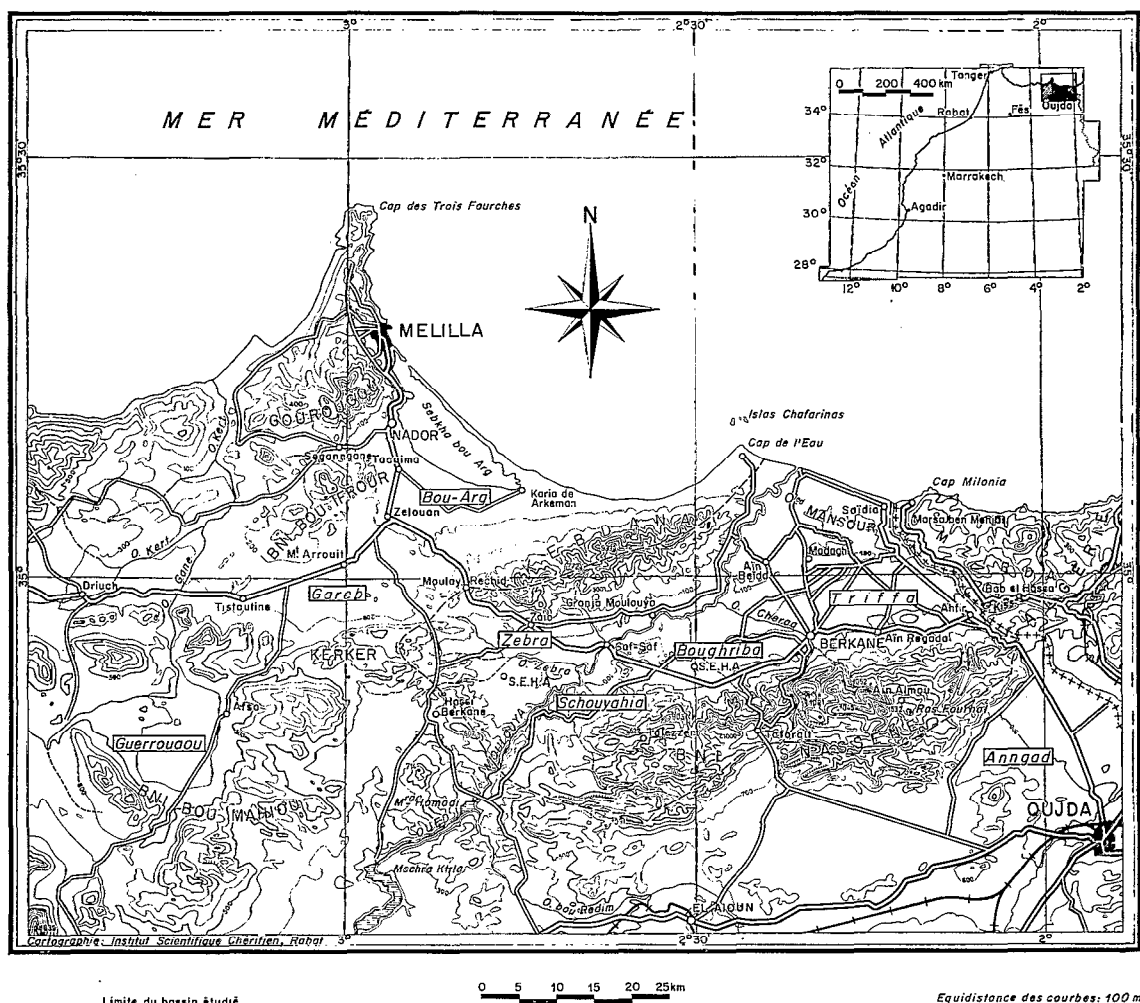


FIG. 1. — La Basse Moulouya

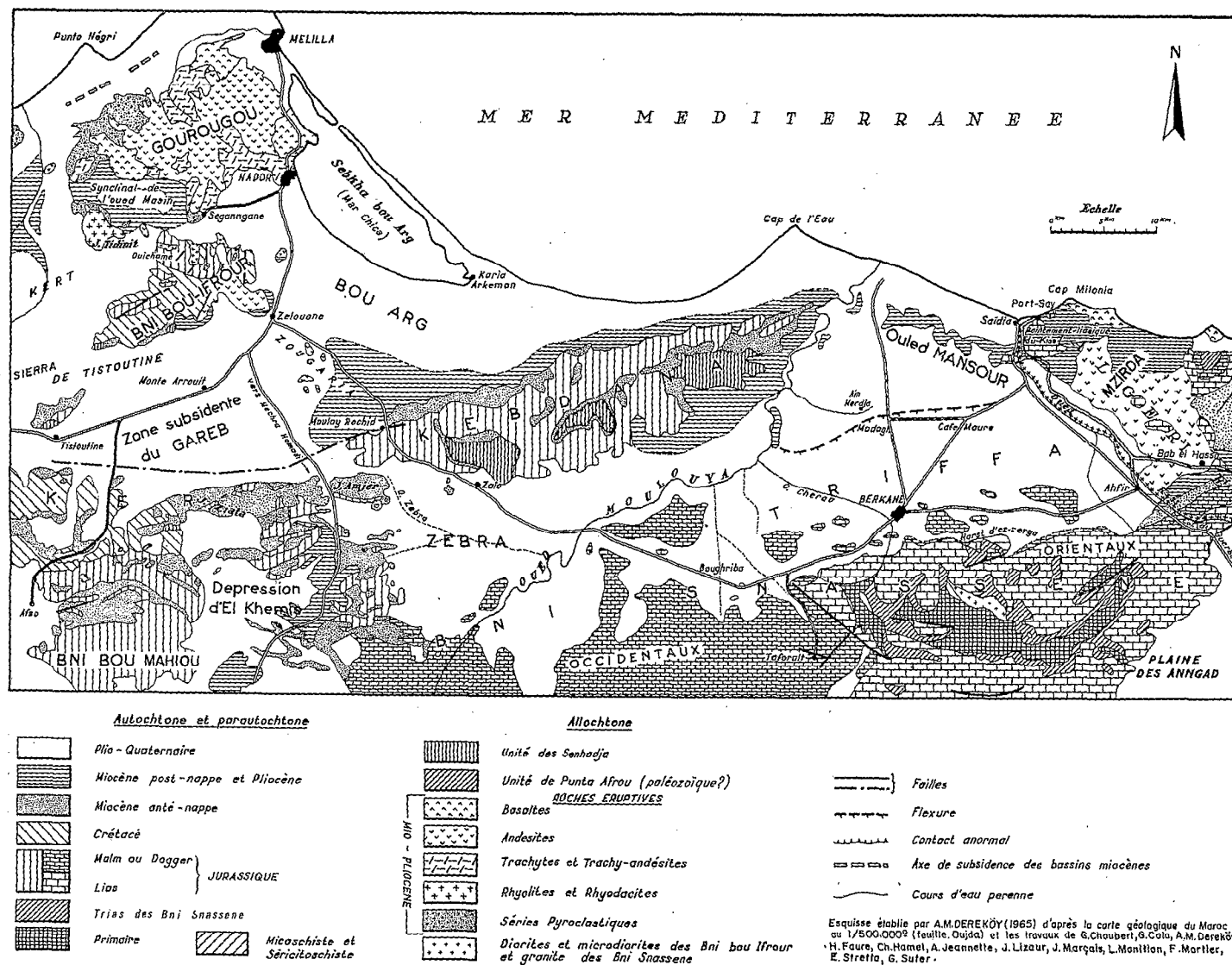


FIG. 2. — La Basse Moulouya : Esquisse géologique et structurale.

### A. Les Bni Snassène.

Traversée à l'ouest par la Moulouya, qui se faufile dans des gorges profondes, la chaîne des Bni Snassène, orientée ouest-sud-ouest - est-nord-est, sépare la Basse Moulouya du couloir de Taourirt-Oujda et constitue le relief le plus puissant de la région. Au Ras Fourhal il culmine à 1 532 m, altitude qu'il perd cependant assez rapidement en allant vers l'est et surtout vers l'ouest : à la frontière algérienne il n'a plus que 600 m ; à l'opposé, près de la Moulouya et au sud du Zebra, l'altitude moyenne ne dépasse pas 400 m. Ce massif est donc surtout imposant dans la partie qui domine la cuvette des Triffa : les impressionnantes entailles des vallées, une couverture végétale assez dense et une occupation humaine remarquable, accrochée au flanc de toutes les vallées, donnent beaucoup d'attrait à cette partie centrale des Bni Snassène.

#### 1. La géologie.

Dans son ensemble, la chaîne se présente à peu près comme une structure anticlinale allongée est-ouest. Une faille nord-ouest - sud-est, passant au sud-est de Berkane, la sépare en deux parties très différentes (fig. 2) <sup>1</sup>.

A l'est de cette faille, le cœur du massif, profondément entaillé par l'érosion, est une boutonnière de terrains primaires, élément du socle hercynien du Maroc oriental (domaine atlasique) : il s'agit de flyschs carbonifères, dans lesquels les pélites dominent largement sur les grès. On y remarque un batholite granitique dont l'affleurement n'occupe qu'une faible surface. Ceinturant cette boutonnière, la série secondaire débute par le Trias (souvent qualifié de Permo-Trias) qui comprend quelques bancs d'argiles rouges et de dolomies et surtout des coulées assez épaisses de basaltes doléritiques. Par-dessus, viennent des couches calcaro-dolomitiques, datées du Lias inférieur et du Lias moyen (Domérien) et qui, sur le versant nord, plongent vers la plaine des Triffa. Particulièrement épais, le Domérien, fait de calcaires et de dolomies très durs, forme tous les hauts sommets du massif et surtout constitue toutes les longues pentes structurales qui descendent vers la cuvette des Triffa. Au pied de la chaîne, le Jurassique moyen et supérieur est représenté par quelques affleurements de marno-calcaires, marnes, grès, grès calcaires et calcaires.

A l'ouest de la faille transversale majeure, l'ensemble du massif est constitué par du Jurassique supérieur portant localement une couverture miocène. Le Jurassique supérieur est profondément entaillé par l'érosion et dresse, au-dessus de la plaine des Triffa, des falaises d'origine tectonique, de plusieurs centaines de mètres de hauteur. Il est essentiellement fait de marnes et de marno-calcaires à la base, puis de grès et de grès dolomitiques (avec intercalations de bancs marneux ou argileux, de moins en moins nombreux quand on s'élève dans la série), enfin de calcaires et de calcaires dolomitiques durs : les affleurements de ces derniers prennent de plus en plus d'importance quand on va vers l'ouest. La couverture miocène, peu développée, est essentiellement composée de conglomérats, de grès calcaires et de marnes.

Dans toutes les vallées de l'ensemble de la chaîne, le Quaternaire est bien développé. Sur les versants, les colluvions masquent les structures géologiques ; elles sont en particulier très étendues à l'aval des corniches calcaires du Lias ou du Malm et, sur les versants sud, elles viennent recouvrir d'un voile caillouteux d'épaisseur variable (quelques centimètres à plusieurs mètres) les dolérites triasiques, les flyschs primaires ou les grès du Jurassique supérieur (voir planche 3, photos 3 et 4). Ces colluvions sont par contre de peu d'importance sur la plupart des surfaces structurales, surtout lorsque ces dernières sont karstifiées. Dans le fond des vallées, les alluvions s'organisent en terrasses plus ou moins bien emboîtées et s'associent à des tables travertineuses. L'âge de ces diverses formations est encore incertain ; il est cependant aisé de reconnaître cinq ensembles de dépôts emboîtés ou superposés :

1. Pour la géologie, les travaux suivants ont été consultés : BEN ABDALLAH (1952) ; CHOUBERT et FAURE-MURET (1956) ; CHOUBERT, MARÇAIS et SUTER (1954) ; DEREKOV (1965) ; H. FAURE (1950) ; GENTIL (1908) ; Ch. HAMEL (cartes géologiques) ; A. JEANNETTE et Ch. HAMEL (1961) ; JUTARD (1954) ; LIZAUR, MARÇAIS, COLO, SUTER (1951, a et b) ; MARÇAIS et SUTER (1952) ; L. MONITION (1956 et 1962) ; A. et L. MONITION (1956) ; MORTIER (1956-1957) ; RAYNAL (1961) ; RUSSO (1938) ; STRETTA (1949).



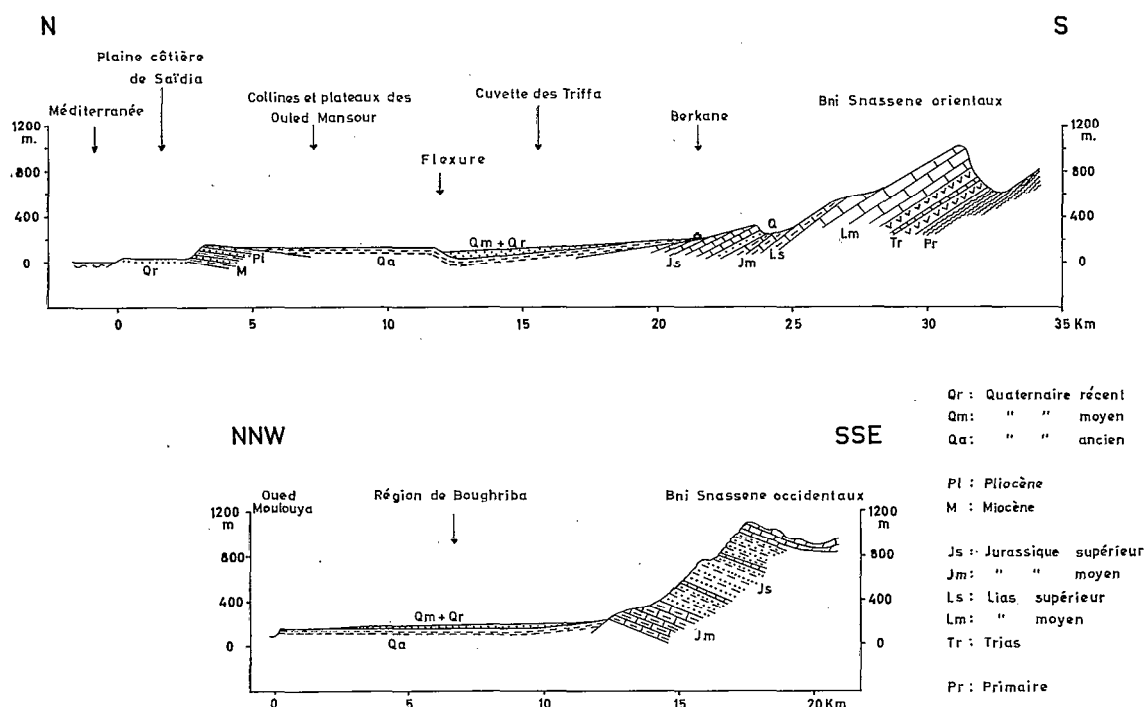


FIG. 2 a. — Coupes géologiques schématiques du flanc nord des Bni Snassène et de la plaine des Triffa.

— Un niveau supérieur, accroché très haut sur les versants, fait de colluvions caillouteuses et couronné par une épaisse dalle calcaire : cette formation rappelle singulièrement le Villafranchien<sup>1</sup>.

— Un ensemble puissant de cônes à gros blocs qui ennoient, sur une épaisseur importante, le fond de certaines grandes vallées : on est tenté d'y voir le Salétien.

— Un niveau très généralisé, mais peu épais, de colluvions et alluvions, caillouteuses et encroûtées, qui façonnent une grande partie des paysages, du haut en bas des vallées : on peut l'attribuer au Tensiftien.

— Des formations beaucoup plus discrètes, rubéfiées et moins caillouteuses, qui ravinent sur les versants les dépôts précédents et s'emboîtent le long des oueds dans les terrasses tensiftiennes : c'est le Soltanien classique.

— Enfin, des colluvions moins rouges recouvrent encore les formations soltaniennes, et dans les vallées des banquettes d'alluvions grises, de texture limono-sableuse, bordent le lit des oueds : ce sont des dépôts qui se mettent en place depuis le Rharbien.

Les formations quaternaires les plus importantes sont donc les plus anciennes et le creusement des principales vallées semble s'être réalisé, pour l'essentiel, avant le Tensiftien au cours duquel s'est ensuite effectuée une grande partie de la « finition » des paysages tels que nous les voyons actuellement.

1. Pour la définition des étages du Quaternaire marocain, on peut consulter la synthèse présentée récemment par BEAUDET, MAURER et RUELLAN (1967).

## 2. Le climat.

Le climat des Bni Snassène est bien entendu, comme celui de l'ensemble de la Basse Moulouya, de type méditerranéen, c'est-à-dire que la très grande majorité des pluies tombe entre les mois d'octobre et d'avril, la valeur des précipitations étant très variable d'une année à l'autre. (Les principales données climatiques de la Basse Moulouya sont résumées dans les tableaux I à VII et les figures 3 et 5, RUELLAN, 1964 a.)

D'est en ouest, ce climat se modifie : il devient moins pluvieux, plus chaud et plus sec. Ceci est vrai à altitude égales et le phénomène est, bien sûr, fortement accentué par les hautes altitudes de la partie orientale où la neige, au-dessus de 1 200 mètres, peut séjourner en hiver pendant plusieurs semaines. A la station d'Aïn Almou (1 335 m) au pied du Ras Fourhal, les précipitations moyennes annuelles sont de 635 mm ; elles ne sont que de 430 mm à Talezzert (450 m) et se situent probablement entre 300 et 350 mm aux abords de la Moulouya.

## 3. La végétation.

Dans l'ensemble de la chaîne, la végétation forestière climacique a été très dégradée par l'homme, surtout à basse altitude et dans les secteurs occidentaux les plus secs où elle a bien souvent disparu. Jusqu'à 700-800 m d'altitude, il s'agit généralement d'un matorral, où le thuya domine accompagné de caroubiers, de lentisques et de quelques oléastres. Au-dessus de 800 m, le chêne-vert apparaît ; il constitue encore dans le centre du massif d'assez belles forêts (TREGUBOV, 1957 et 1963).

## 4. Conclusions.

Il y a donc entre l'est et l'ouest des Bni Snassène, trois différences importantes, en fonction desquelles, nous le verrons, se modifient dans les plaines les dépôts quaternaires et les sols :

— Une différence pétrographique : à l'est ce sont soit des roches non calcaires et d'érosion facile, soit des roches calcaires et dolomitiques compactes, très résistantes à l'érosion. Au contraire à l'ouest, les faciès non calcaires sont rares et les affleurements de marnes, de calcaires tendres, et de grès calcaires, facilement érodés, sont fréquents.

— Une différence structurale : à l'est, la cuvette des Triffa est dominée surtout par les grandes pentes structurales du Lias ; pentes karstifiées, évoluant lentement, et sur lesquelles, nous le verrons, se sont principalement développés des sols rouges fersiallitiques (chapitre 5). Ces pentes sont entaillées par des oueds conséquents qui coulent, en traversant le Lias, dans des gorges étroites et profondes, et continuent d'apporter dans la plaine tous les produits de l'érosion qui a déjà profondément défoncé le noyau primaire et triasique de la chaîne, essentiellement non calcaire. A l'ouest, dominant directement la plaine, ce sont des falaises tectoniques, souvent rajeunies par l'érosion qui amène dans les bas-pays une quantité importante de matériaux calcaires.

— Une différence climatique très nette : de l'est à l'ouest on passe d'une montagne sub-humide à des régions semi-arides souvent voisines de l'aride.

## B. Les Kebdana et les Kerker.

Séparant le synclinal Zebra-Triffa du synclinal Gareb-Bou Arg, et limitant le bassin de la Moulouya, ces deux chaînes sont plus étroites et moins élevées que les Bni Snassène : les Kebdana culminent à 933 m, mais la plupart des sommets se situent entre 700 et 900 m ; les Kerker s'élèvent jusqu'à 814 m, mais le plus souvent les crêtes n'y dépassent guère 500 m. D'autre part, sur leurs versants sud, ces montagnes sont beaucoup plus arides que les Bni Snassène orientaux ; la végétation naturelle y est très clairsemée, très dégradée et l'occupation humaine reste assez limitée.

Ride anticlinale complexe, fortement plissée et accidentée, la chaîne des Kebdana représente, comme les Bni Snassène, une avancée septentrionale du domaine atlasique. Cependant, les Kebdana

appartiennent aussi au Rif : sur l'autochtone jurassique, recouvert par du Miocène « anté-nappe », apparaissent des nappes, charriées au cours du Miocène (nappe des Senhadja).

Les faciès jurassiques des Kebdana, depuis l'Infra-Lias jusqu'au Malm, sont assez différents de ceux des Bni Snassène. Il s'agit essentiellement de calcaires dolomitiques, de marno-calcaires et de formations schisto-gréseuses (flyschs). Le Miocène « anté-nappe » (Tortonien inférieur), transgressif, est constitué soit par des calcaires sableux, soit par des micro-conglomérats à éléments jurassiques et ciment calcaire. La nappe des Senhadja, dont les affleurements sont assez importants, comporte des éléments primaires (schistes et grès voisins de ceux des Bni Snassène), divers faciès du Trias (argiles rouges, grès calcaires, marnes gypseuses, ophites, calcaires, dolomies) et des éléments du Lias (calcaires, dolomies, cipolins). Enfin, surtout sur le versant nord, les affleurements du Miocène post-nappe sont importants ; il s'agit essentiellement de marnes.

Les faciès pétrographiques des Kebdana sont donc souvent calcaires et marneux ; il faut cependant retenir la présence des flyschs du Primaire et du Jurassique moyen et supérieur : nous verrons que ces roches, non calcaires, ont une influence importante sur les sols de la plaine du Zebra.

Dans les Kerker, deux zones s'opposent ; la route qui relie la plaine du Gareb à celle du Guerrouaou (Afso) suit à peu près la limite qui les sépare :

— A l'est, il s'agit d'un anticlinal calcaro-dolomitique de Jurassique supérieur supportant des formations marno-gréseuses du Miocène « anté-nappe », le flanc nord de l'anticlinal étant constitué par des faciès marno-gréseux et des calcaires du Crétacé inférieur ; dans toute cette zone, les klippes de nappes sont nombreux : ophite, dolomies, gypse et marnes rouges du Trias, calcaires du Lias, marnes du Sénonien.

— A l'ouest, c'est un synclinal crétacé (marno-gréseux et calcaire) qui sépare le Guerrouaou du Gareb et du Kert ; il supporte en discordance les calcaires détritiques du Miocène « anté-nappe » ; mais on est là déjà loin de la Basse Moulouya.

Dans les deux chaînes, le Quaternaire est à peu près semblable à celui des Bni Snassène.

### C. Conclusions.

De cette brève étude des massifs montagneux qui dominent les plaines de la Basse Moulouya, il faut surtout retenir que, d'est en ouest, des facteurs importants de l'évolution des sols se modifient :

- la proportion des roches calcaires et des roches marneuses augmente ;
- l'altitude moyenne diminue ;
- le climat devient plus aride ;
- la couverture végétale s'appauvrit ;
- l'érosion s'accroît, facilitée à la fois par les conditions structurales, la pétrographie, la sécheresse, l'action de l'homme.

Rappelons aussi que l'essentiel du façonnement quaternaire de ces massifs peut être rapporté au Villafranchien et au Salétien ; il faut donc s'attendre à ce que dans les plaines les formations du Quaternaire ancien soient de loin les plus puissantes.

## II. LES PLAINES

La grande dépression synclinale qui, du sud-ouest au nord-est, s'étire entre les Kebdana et les Bni Snassène, est inégalement divisée en deux par l'oued Moulouya, naguère frontière entre les protectorats espagnol et français :

- A l'ouest, sur la rive gauche, la plaine du Zebra.
- A l'est, sur la rive droite, les plaines et collines des Triffa.

Cependant, si la plaine du Zebra constitue une unité géographique assez homogène, il n'en va pas de même pour l'ensemble plus vaste des Triffa : les variations lithologiques, géomorphologiques et climatiques des Bni Snassène, la présence, le long de la côte, des collines des Ouled Mansour qui modèrent l'influence marine, les mouvements tectoniques quaternaires, ont façonné, dans cette région de la rive droite, des zones assez différentes les unes des autres tant sur les plans du relief, du climat et des sols que sur celui de l'occupation humaine.

#### A. Les plaines et collines de la rive droite: les Triffa.

A l'est de la Moulouya, dans cette région classiquement dénommée plaine des Triffa, on peut reconnaître six zones différentes (fig. 1).

1. *La plaine côtière de Saïdia* : étirée entre la Méditerranée et les falaises des Ouled Mansour c'est une basse plaine (2 à 5 m d'altitude) de 2,5 km de large où les cordons dunaires anciens et actuels séparent des bas-fonds où s'accumulent encore de nos jours des alluvions à texture souvent très fine. La présence d'une nappe phréatique salée très proche de la surface, responsable d'une salinisation et d'une alcalinisation très forte des sols, souvent très argileux, rend difficile la mise en valeur de cette plaine. Le climat y est pourtant très doux, semi-aride, avec des précipitations moyennes annuelles de 360 mm à Saïdia, une assez forte humidité de l'air et des températures qui ne sont jamais excessives (tabl. I à VII ; fig. 3 et 5).

2. *Les collines et les plateaux des Ouled Mansour* : larges d'environ 10 km à l'ouest et de 4 km à l'est, ils sont constitués de marnes et de grès calcaires du Miocène « post-nappe » et du Pliocène, assez fortement tectonisés et très souvent recouverts d'une puissante dalle calcaire du Villafranchien. L'altitude moyenne de ces collines et plateaux se tient entre 100 et 120 m, sauf à l'est où perce le Jurassique inférieur que l'oued Kiss traverse en cluse (point culminant : 194 m). Par manque d'eau, cette région est surtout cultivée en sec (céréales).

#### PLANCHE I

*Photo 1* : La chaîne des Bni Snassène vue de son sommet, le Ras Fourhal.

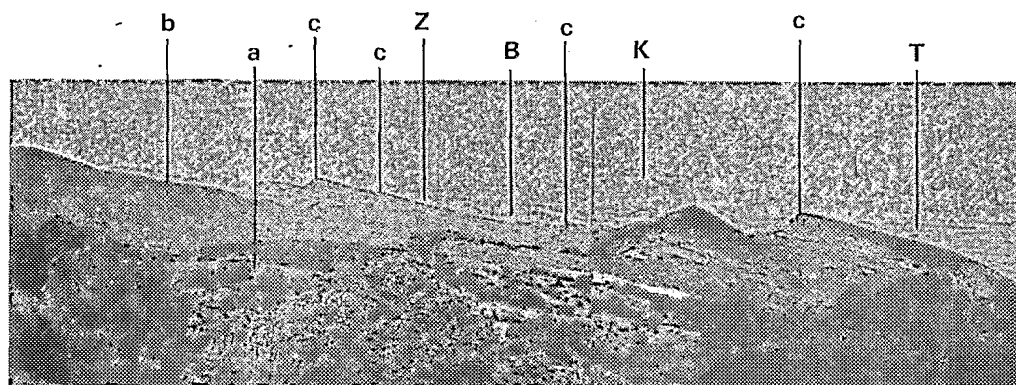
B = Boughriba ;                      K = Kebdana ;  
 T = Cuvette des Triffa ;            Z = Zebra.  
 a = granite,  
 b = flyschs primaires,  
 c = calcaires et dolomies du Lias, plongeant vers les Triffa.

*Photo 2* : Une vallée des Bni Snassène, descendant vers les Triffa.

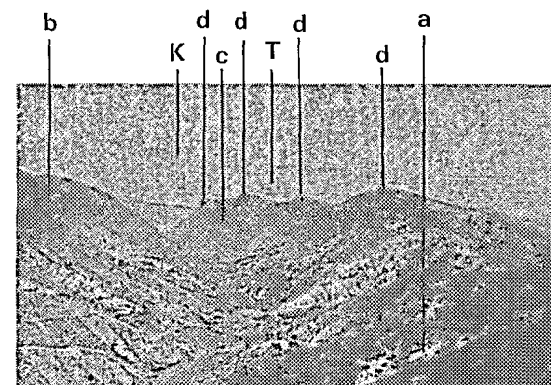
K = Kebdana ;                      T = Triffa.  
 a = granite,  
 b = flyschs primaires,  
 c = basaltes du Trias et flyschs du Primaire, couverts de colluvions du Quaternaire,  
 d = corniches calcaires et dolomitiques du Lias.

*Photo 3* : L'ensemble des Triffa, vu du sommet des Bni Snassène.

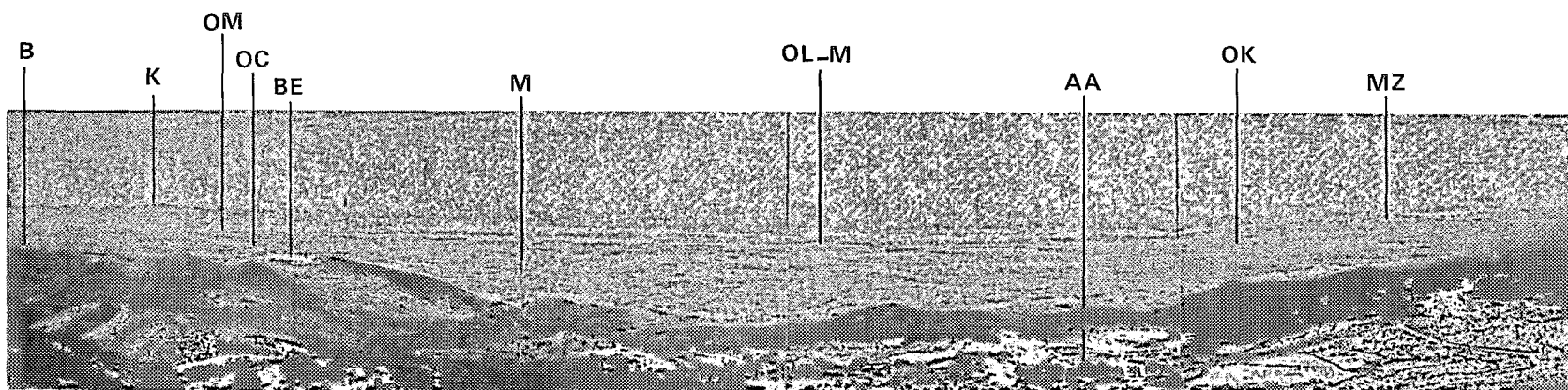
AA = Aïn Almou ;                      B = Boughriba ;  
 BE = Berkane ;                      K = Kebdana ;  
 M = Madagh ;                      MZ = Mzirda ;  
 OC = Oued Cheraa ;                      OK = Oued Kiss ;  
 OM = Oued Moulouya ;                      OL-M = Ouled Mansour.



1

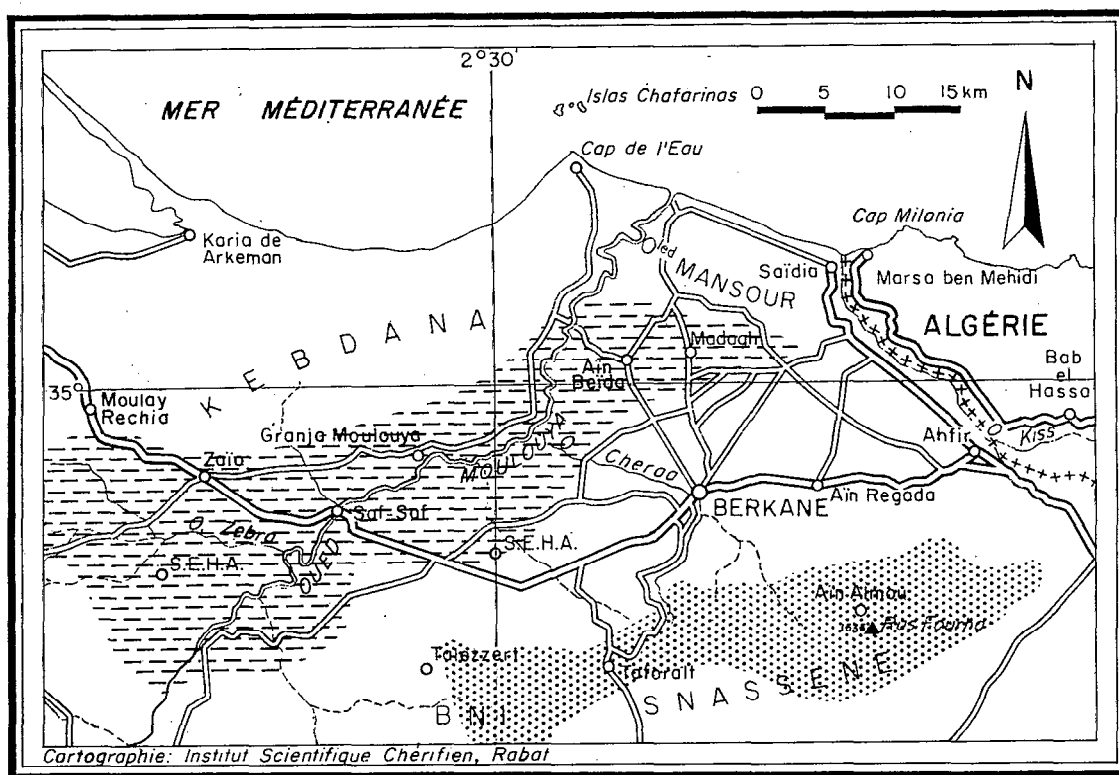


2



3

3. *La cuvette des Triffa* : limitée au nord par les Ouled Mansour, à l'est par l'oued Kiss, au sud par les premières collines jurassiques des Bni Snassène et à l'ouest par l'oued Cheraa et les plateaux plio-villafranchiens qui bordent la Moulouya, c'est une zone subsidente depuis le début du Quaternaire : la dalle calcaire villafranchienne, brutalement flexurée à la bordure sud des Ouled Mansour, ne réapparaît que le long du Kiss, du Cheraa et des Bni Snassène. Il s'agit donc bien d'une cuvette, mal drainée, que les oueds Cheraa et Kiss bordent en l'ignorant presque complètement. Au milieu de cette cuvette, les oueds secondaires, descendant des Bni Snassène, se perdent dans les alluvions de leurs cônes de déjections. La zone de Madagh, située au pied des ouled Mansour, était un marécage au début du siècle. Dans cette cuvette, l'accumulation des alluvions quaternaires, provenant de l'érosion des Bni Snassène, a donné naissance à une topographie très régulière qui rend impossible le tracé du partage des eaux entre la Moulouya et le Kiss. Mais c'est cette topographie, associée à des sols souvent fertiles (sols châtaîns isohumiques plus ou moins encroûtés) et à une nappe phréatique abondante, qui a favorisé le développement d'une agriculture irriguée intensive et moderne, la plus riche de l'ensemble des périmètres de la Basse Moulouya, à laquelle s'ajoute, depuis quelques années celle des zones irriguées par les eaux de la Moulouya. Sur le plan climatique, cette cuvette est assez hétérogène ; protégée des influences marines, la zone de Madagh est aride et assez froide : les précipitations moyennes n'y sont que de 300 mm et les gels sont assez fréquents en hiver. Mais vers le sud, on passe progressivement à des zones plus humides et plus chaudes, et d'autant plus humides que l'on va vers l'est : il pleut 375 mm à Berkane, 425 mm à Ahfir.



Subhumide



Semi-aride



Aride

FIG. 3. — Carte schématique des étages bioclimatiques de la Basse Moulouya.

4. *Le piémont est des Bni Snassène* : entre les premières collines jurassiques, qui limitent la cuvette des Triffa au sud, et la chaîne des Bni Snassène, se situe une zone de piémont à topographie très irrégulière. Ce relief mouvementé résulte du double jeu de la tectonique et des cônes de déjections qui recouvrent très souvent des glacis fortement encroûtés du Quaternaire ancien.

5. *La région de Boughriba* : quand, après avoir traversé l'oued Cheraa, on se dirige vers l'ouest de la plaine des Triffa, les paysages changent rapidement : le pays devient moins riche, plus sec, plus aride. Cette région de Boughriba, limitée à l'est au Cheraa, au nord à la Moulouya, à l'ouest aux collines jurassiques de Saf-Saf et au sud aux Bni Snassène, se divise en réalité en deux parties :

— A l'est et au nord-est, s'étalent de longs glacis villafranchiens ondulés par la tectonique, dominés au sud par deux alignements est-ouest de collines jurassiques et entaillés par quelques ravins étroits et profonds dans lesquels des systèmes assez vagues de terrasses quaternaires s'emboîtent. C'est une large zone de transition (10 km environ) où d'est en ouest le climat devient de plus en plus aride, de plus en plus chaud et les sols, peu épais sur une puissante dalle calcaire, de moins en moins rouges, de plus en plus calcaires, passent des sols châtaîns aux sols bruns isohumiques.

— Au sud-ouest, la cuvette de Boughriba, assez mal drainée, est déjà une zone aride, chaude, où, sur des alluvions datant du Quaternaire moyen et récent, se développent des sols bruns isohumiques, souvent fortement encroûtés. Irriguée par la Moulouya depuis plusieurs années, cette zone est cependant encore assez verdoyante.

6. *La région de Schouyahia* : ce n'est vraiment que par sa situation sur la rive droite de la Moulouya que cette région de Schouyahia est rattachée à la plaine des Triffa dont elle est séparée par les Bni Snassène et par une ligne nord-sud de collines jurassiques : géographiquement, elle se rapproche beaucoup plus de la plaine du Zebra. Coincée entre les Bni Snassène et la Moulouya, sur une longueur de 15 km et une largeur de 5 km, c'est un vaste glacis du Villafranchien, protégé de l'érosion par une puissante dalle calcaire, mais assez fortement tectonisé : c'est grâce à cette tectonique et à quelques profondes entailles, qu'ont pu localement s'accumuler les dépôts quaternaires sur lesquels se sont développés les sols bruns isohumiques souvent fortement encroûtés. Ces sols, associés à des sols peu évolués, se retrouvent également sur les quelques terrasses alluviales étroites qui longent la Moulouya. Le paysage, localement égayé par suite de l'irrigation, est typiquement celui de la Moulouya aride. Le climat y serait cependant un peu plus humide que dans la cuvette de Boughriba.

7. *La végétation* : La végétation naturelle de l'ensemble des plaines et des collines situées à l'est de la Moulouya, est actuellement très endommagée par l'occupation humaine (pâturages, cultures irriguées). Cette dégradation est cependant plus récente que dans les montagnes : elle ne s'est accélérée que depuis cinquante à cent ans.

TREGUBOV (1957, 1963) a tenté, en effectuant une étude des groupements végétaux, de reconstituer le passé. Il a été ainsi conduit à distinguer, en plus de la plaine côtière de Saïdia, essentiellement couverte par une végétation halophile, trois régions :

— La cuvette des Triffa : cette région était encore occupée au début du siècle par une forêt de lentisques. D'après TREGUBOV la forêt climacique de cette zone fut l'Oleo-Lentiscetum avec oléastre, lentisque; thuya et tizra; la dégradation de cette forêt aurait donné naissance à une brousse à Withania et jujubier puis à une végétation de pâturages et de jachères.

— La région de Boughriba : d'après TREGUBOV, la végétation climacique de cette zone aurait également été une forêt (Oleo-Ceratonion) dans laquelle le thuya, le caroubier et l'oléastre auraient tenu un rôle important; la destruction de cette forêt aurait également cédé la place à une brousse à Withania et jujubier puis à une végétation de pâturages et de jachères.

— La région de Schouyahia : il s'agit là d'une zone moins cultivée où la steppe à armoise occupe encore d'assez vastes surfaces. Cependant, d'après TREGUBOV, là aussi une végétation forestière aurait existé autrefois : Oleo-Ceratonion avec le thuya comme espèce dominante ; après la dégradation de cette forêt, auraient pris place une végétation buissonnante à Withania et jujubier, puis des pâturages à armoise et Stipa (il ne s'agit pas de l'alfa mais de *Stipa parviflora* et de *Stipa retorta*).

Les enquêtes que j'ai pu faire auprès des agriculteurs confirment qu'au début du siècle une forêt assez dense s'étendait très largement dans la cuvette des Triffa. On sait par ailleurs que les forêts d'arbustes étaient fréquentes dans des régions arides comme la plaine de Guercif : elles ont donc pu exister à Boughriba et dans le Zebra.

## B. La plaine du Zebra.

Quand, venant de Berkane, on arrive dans la plaine du Zebra après avoir traversé à Saf-Saf le pont sur la Moulouya, le changement est assez brutal. Dans les plaines de la rive droite, la route qui va de Berkane à Saf-Saf, traverse presque en permanence des zones irriguées verdoyantes et, mis à part les changements de coloration dans les sols, on ne s'aperçoit pas que le climat devient de plus en plus aride ; mais quand, après Saf-Saf, on remonte sur les plateaux du Quaternaire ancien, le contraste est saisissant.

La plaine du Zebra est en effet un îlot d'aridité. Si à Zaïo, seule station météorologique fonctionnant dans la région depuis assez longtemps, le climat est encore, du fait de sa situation au pied des Kebdana, assez humide, mais déjà très chaud, le centre de la plaine, domaine de la steppe à armoise, est par contre une zone beaucoup plus aride où le jujubier ne se maintient que dans les vallons. Une étude phytogéographique et bioclimatique réalisée par PERSOGLIO (1962) l'a clairement démontré et il est très probable que la plaine du Zebra est encore plus aride, plus chaude et plus continentale que la cuvette de Boughriba (les premiers résultats climatologiques obtenus depuis quelques années à la Station expérimentale du Zebra (SEHA) située au centre de la plaine, confirment l'existence de cette aridité : les précipitations moyennes annuelles y seraient de l'ordre de 250-300 mm).

## PLANCHE 2

Photo 1 : La chaîne des Kebdana, vue de la plaine du Zebra.

Za = Zaïo.

- a = Autochtone jurassique et miocène,
- b = Nappe des Senhadja : flyschs du Primaire,
- c = Nappe des Senhadja : calcaires et dolomies du Lias,
- d = Cônes de piémont,
- e = Plaine du Zebra : glacis polygénique (Quaternaire ancien et récent).

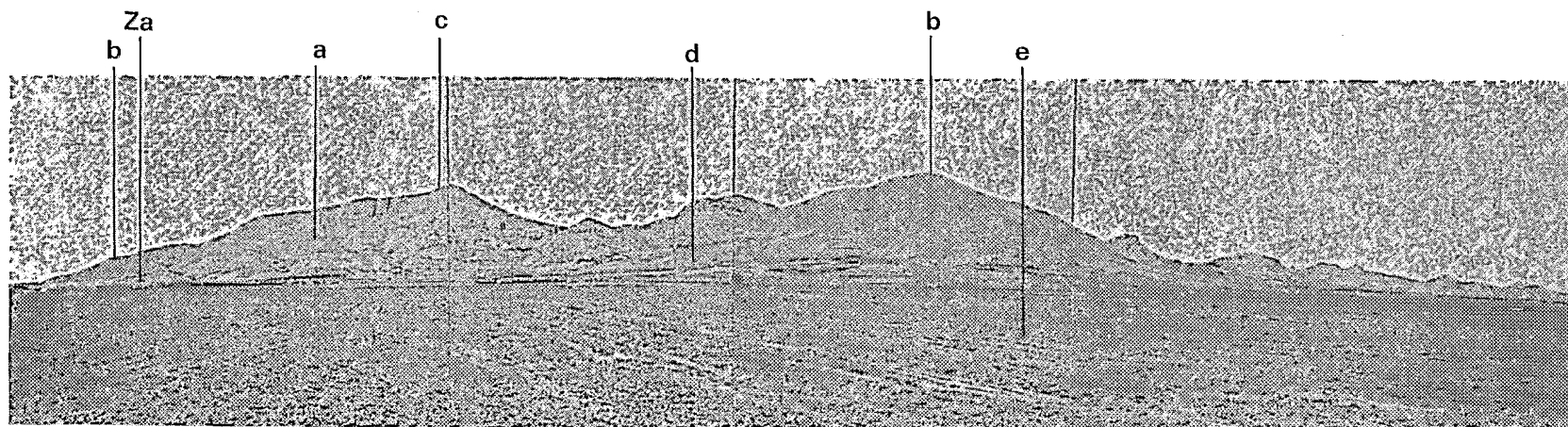
Photo 2 : La plaine du Zebra, vue du sommet de la chaîne des Kebdana.

- B = Boughriba ;                      BBM = Bni Bou Mahiou ;
- BS = Bni Snassène ;                      Kr = Kerber ;
- OM = Oued Moulouya ;                      OZ = Oued Zebra ;
- SC = Schouyahia ;                      Za = Zaïo.

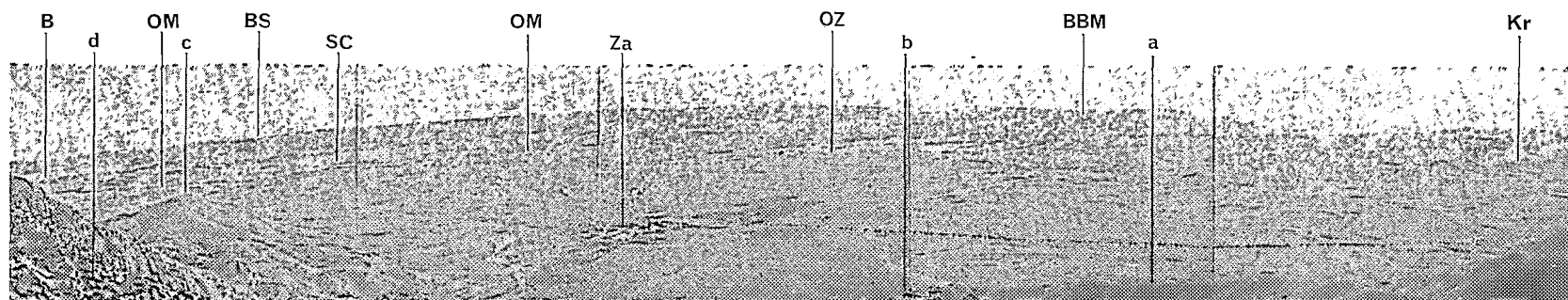
Kebdana :

- a = Autochtone jurassique,
- b = Autochtone miocène,
- c = Nappe des Senhadja : flyschs du Primaire,
- d = Nappe des Senhadja : calcaires et dolomies du Lias.





1



2

Comme les plaines de la rive droite, la plaine du Zebra est une assez vaste dépression où se sont accumulées les alluvions et colluvions quaternaires. Ce sont les dépôts du Villafranchien, couronnés par une croûte et une dalle calcaire très puissantes, qui dominent largement, mais la tectonique fini-villafranchienne a été assez marquée et a permis aux dépôts du Quaternaire plus récent de prendre une certaine extension.

Dotée d'un relief assez irrégulier, de sols bruns isohumiques dont la fertilité est médiocre (calcaires, fortement encroûtés, salés et alcalisés), d'un climat très sec, la plaine du Zebra, d'où toute nappe phréatique est absente, est encore une région peu peuplée, cultivée en sec d'une façon extensive. Mais aujourd'hui cette situation évolue rapidement : l'irrigation commence et le Zebra verdit.

Signalons enfin qu'entre Saf-Saf et l'embouchure de la Moulouya, le piémont des Kebdana offre les mêmes paysages que la région de Schouyahia.

### C. Les traits majeurs du Quaternaire.

Dans les régions tempérées d'Europe, les sols sont souvent assez jeunes, post-glaciaires : les sols plus anciens n'ont pas résisté à l'érosion glaciaire ou à celle provoquée par une tectonique qui s'est poursuivie jusqu'à des époques récentes ; ces sols jeunes peuvent cependant être bien développés, les mécanismes de la différenciation des sols étant rapides. Par contre, dans les régions tropicales et équatoriales de l'Afrique, du fait d'une certaine stabilité climatique et tectonique, les paysages et les sols sont souvent très vieux, évoluant quelquefois depuis la fin du Secondaire. C'est entre ces deux extrêmes que se situent les zones subtropicales méditerranéennes de l'Europe et de l'Afrique : la différenciation des paysages et des sols s'y est surtout faite au cours du Quaternaire, après les grands mouvements tectoniques alpins qui ont vigoureusement secoué ces régions.

Au Maroc, pays où presque tous les types de climats méditerranéens, xérothériques, sont présents, depuis le saharien jusqu'à l'humide en passant par des domaines montagneux très froids, les héritages quaternaires sont nombreux et souvent très visibles : formes et dépôts quaternaires modèlent presque tous les paysages et ne peuvent échapper aux observateurs. De ce fait, la bibliographie concernant le Quaternaire marocain est très abondante : le point vient d'en être fait en détail, à l'occasion du VIII<sup>e</sup> Congrès de l'INQUA par BEAUDET (avec la collaboration de RUELLAN) (1969).

En Basse Moulouya, sous l'impulsion de RAYNAL et, en particulier, à la suite de ses travaux dans l'ensemble de la Moulouya (1961), ce sont surtout des pédologues qui se sont penchés sur l'étude du Quaternaire. On doit en particulier citer CHEVRON-VILLETTE (1954), HEUSCH (1960) et HUBSCHMAN (1967) pour les Triffa, MASSONI (1962) et RUELLAN (1962, 1963) pour le Zebra. Les raisons de cet intérêt sont multiples :

— Tous les sols de ces plaines, étudiées pour être mise en valeur, sont développés sur des dépôts quaternaires qu'il est logique de vouloir connaître.

— On peut constater très vite qu'il existe des liens nombreux entre les types de sols d'une part, les formes et les dépôts quaternaires d'autre part, et pour réaliser les travaux de cartographie d'une façon à la fois plus précise et plus rapide, il paraît souhaitable que ces liens soient établis et compris. Les pédologues ont donc voulu approfondir l'étude du Quaternaire et ont ensuite été tentés de l'interpréter en s'appuyant sur les résultats originaux que l'étude des sols avait pu leur fournir.

— L'étude du Quaternaire est un sujet commun à de nombreux spécialistes ; c'est un « sujet de rencontre » pour des chercheurs et ingénieurs qui souvent travaillent séparément. Chacun a tenté de participer à ces rencontres qui permettent des échanges, toujours fructueux, de méthodes et de résultats.

Les écrits concernant le Quaternaire des plaines de la Basse Moulouya sont donc nombreux : reconnaissances des cycles ou étages successifs ; descriptions et analyses des formes, des dépôts et des sols caractérisant chacun de ces cycles ; cartes ; interprétations de l'histoire géologique, géomorphologique, pédologique et bioclimatique.

De la lecture de cette bibliographie, abondante et souvent contradictoire, sur l'ensemble du Quaternaire marocain ou seulement sur celui de la Basse Moulouya, on peut dégager deux constatations :

— Les mécanismes pédogénétiques ont eu un rôle important dans l'édification progressive des dépôts, des faciès et des formes quaternaires ; nombre de travaux récents s'attachent à le démontrer.

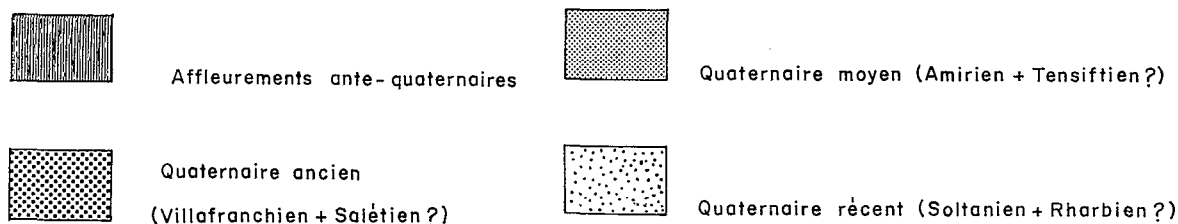
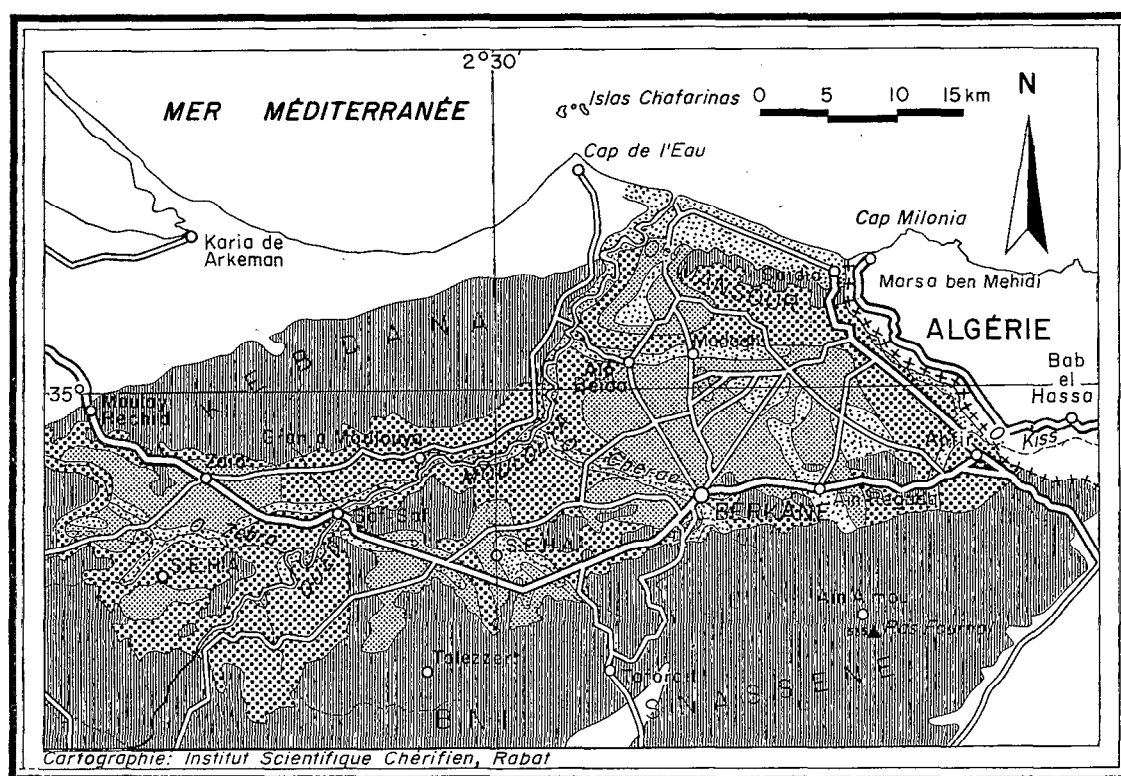


FIG. 4. — Carte schématique de la répartition des dépôts du Quaternaire dans les plaines de la Basse Moulouya.

— Toute présentation détaillée du Quaternaire, qu'il s'agisse de ses faciès ou de ses formes, est appuyée, au moins en partie, sur des hypothèses de départ et ces hypothèses sont différentes selon les auteurs.

Il est donc difficile de présenter dès maintenant, dans ce chapitre, une étude détaillée du Quaternaire. Sans doute, par ses formes, ses dépôts et toute son histoire, cette ère récente est, parmi les facteurs de la pédogenèse décrits dans ce premier chapitre, l'un des plus importants ; mais pour exposer tout cela d'une façon précise, il faudrait anticiper sur ce qui constitue la partie centrale de ce travail, c'est-à-dire la description et l'interprétation des sols.

Pour sortir de ce cercle, j'ai alors fait le choix suivant :

— Donner, ci-dessous, un canevas sommaire des traits majeurs du Quaternaire de la Basse Moulouya, en toute indépendance des interprétations génétiques. Ce canevas est nécessaire pour la suite de l'exposé.

— Réserver à la troisième partie, dans le cadre de l'interprétation globale des faits, la présentation génétique de certains aspects de ce Quaternaire.

Voici donc l'essentiel des traits du Quaternaire des plaines de la Basse Moulouya qui constitue le cadre des sols qui seront décrits dans les chapitres suivants :

1. Les dépôts quaternaires, qui sont les roches-mères de la presque totalité des sols de la Basse Moulouya, sont soit des alluvions, soit, plus souvent, des colluvions. A part les dunes côtières, les dépôts éoliens sont absents (la zone côtière de Saïdia, faite de dépôts récents en partie marins et couverte surtout de sols halomorphes, n'est pas étudiée ici).

2. Ces formations peuvent être organisées :

— en terrasses emboîtées le long des oueds : il s'agit en général de glacis-terrasses, sauf pour les dépôts les plus récents, attribués au Flandrien et au Rharbien, qui forment des banquettes ; ces terrasses sont surtout développées le long de la Moulouya, du Kiss, du Cheraa et du Zebra ;

— en dépôts, superposés ou emboîtés, dans les petites vallées ;

— en glacis d'érosion et d'accumulation, plus ou moins bien emboîtés les uns dans les autres ;

— en glacis ou cônes d'accumulation qui se superposent sur des épaisseurs très variables.

3. La texture de ces dépôts est assez variable ; d'une façon très générale, on peut dire que :

— sur les terrasses, les sédiments sont mieux triés, mais moins argileux, que sur les glacis ;

— sur les glacis, les textures sont assez fines dans la partie moyenne, mais sont nettement plus grossières soit à l'amont près du piémont, soit à l'aval près de la terrasse ;

— la définition précise d'un étage par la texture des dépôts est difficile.

4. En se fondant uniquement sur des critères topographiques (emboîtements de terrasses et de glacis) et sur quelques données sédimentologiques suffisamment générales, on peut, d'une façon schématique, distinguer dans le Quaternaire des plaines de la Basse Moulouya, les subdivisions suivantes (fig. 4) :

### PLANCHE 3

*Photo 1 :* Un glacis du Quaternaire ancien (Qa) de la plaine du Zebra.

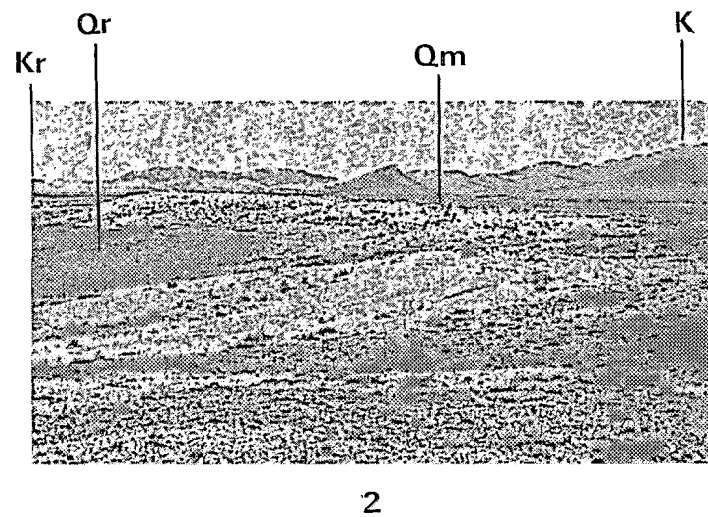
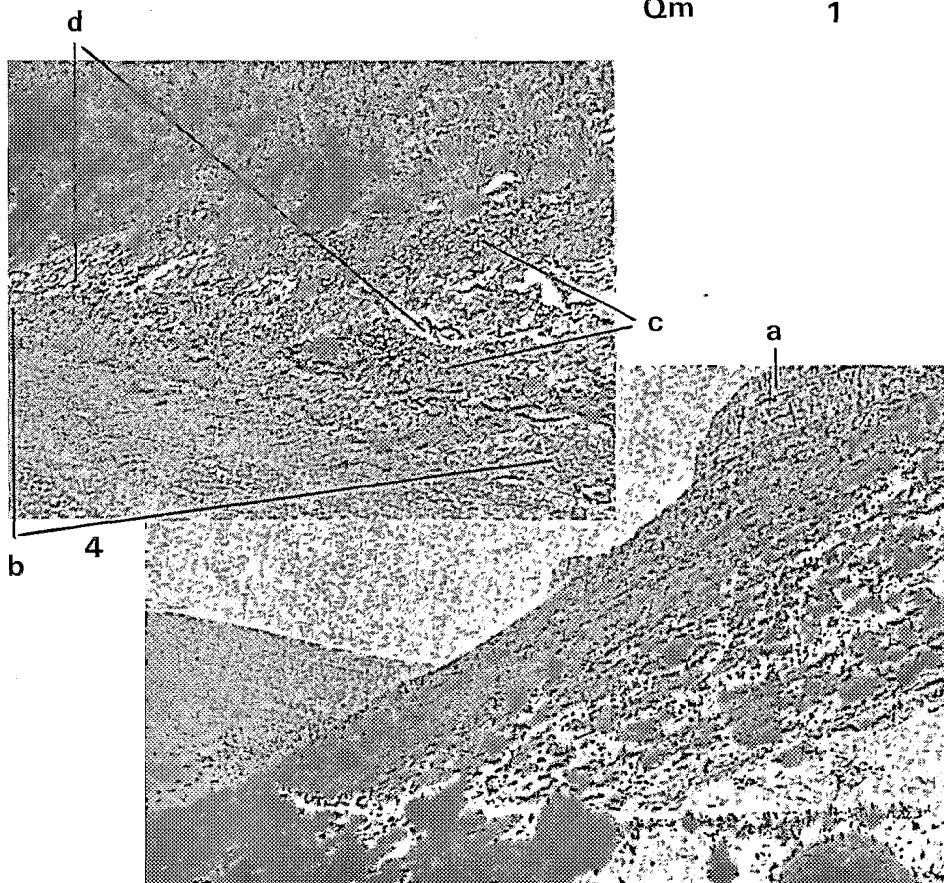
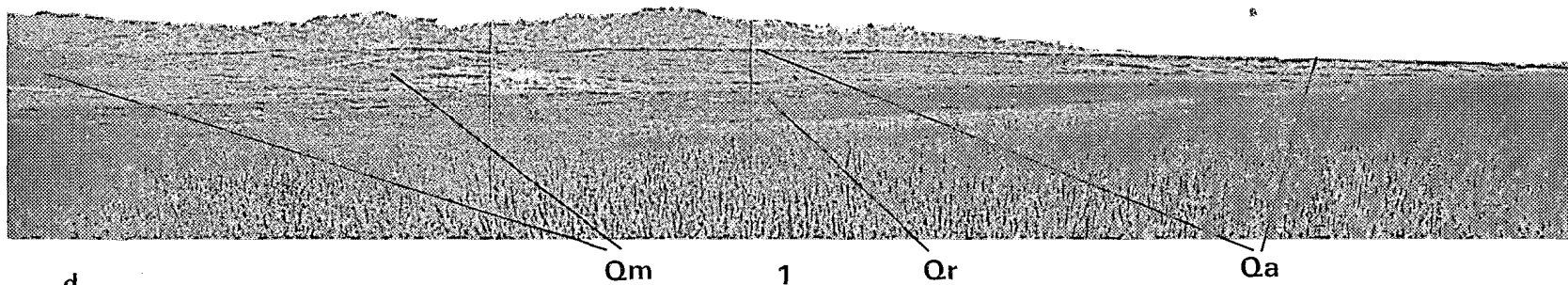
Au fond, les Kebdana.

Emboîtés dans le glacis, dépôts du Quaternaire moyen (Qm) et du Quaternaire récent (Qr).

*Photo 2 :* Emboîtement des formations du Quaternaire moyen (Qm) et récent (Qr) le long de l'Oued Zebra (OZ).

Au fond, les Kerker (Kr) et les Kebdana (K).

*Photos 3 et 4 :* Dans les Bni Snassène, à l'aval d'une corniche calcaire du Lias (a), versant taillé dans les basaltes du Trias (photo 3). Sur tout le versant, le basalte (b) est recouvert de colluvions calcaires (c) plus ou moins épaisses (photo 4), des sols à profil calcaire très différencié, avec croûte (d), se sont développés dans ces colluvions et les basaltes.



3

— Un Quaternaire ancien, très nettement dominant à la fois par la puissance de ses dépôts (plusieurs dizaines de mètres dans certains secteurs) et par l'étendue de ses affleurements. Modelé en glacis, qu'une tectonique assez vigoureuse a fréquemment déformés, ce Quaternaire ancien est à peu près l'équivalent du Moulouyen et du Salétien décrits par RAYNAL (1961). En Basse Moulouya, on peut y distinguer trois niveaux, que j'appellerai Villafranchien inférieur, moyen et supérieur.

— Un Quaternaire moyen, qui peut être considéré comme l'équivalent de l'Amirien et du Tensiftien. Emboîté ou superposé au Villafranchien, ce Quaternaire moyen est présent dans toutes les zones de la Basse Moulouya et il est particulièrement développé dans la cuvette des Triffa, dans la dépression de Boughriba et dans la partie nord du Zebra. Trois niveaux : inférieur, moyen et supérieur, peuvent y être en général distingués.

— Un Quaternaire récent, beaucoup plus discret que les deux précédents : terrasses le long des oueds, comblement des vallons, petits cônes de piémont. C'est le Soltanien et le Rharbien, chacun pouvant être souvent subdivisé en 2 niveaux, inférieur et supérieur.

#### D. Conclusions.

L'étude des massifs montagneux nous a déjà montré que, d'est en ouest, les facteurs de la pédogenèse se modifient nettement.

L'étude des plaines fait ressortir des variations équivalentes : d'est en ouest le climat s'aridifie et tous les éléments du paysage s'en ressentent :

— La cuvette des Triffa à l'est, est un paysage méditerranéen semi-aride classique, où les sols, décarbonatés, rouges en été mais verdoyants en hiver et au printemps, ont inspiré confiance aux agriculteurs : ceux-ci n'ont pas été déçus ;

— La plaine du Zebra à l'ouest, c'est au contraire déjà l'aride, éblouissant en été, souvent poussiéreux, calcaire presque partout ; la verdure ne vient pas souvent y masquer les belles couleurs que les roches peuvent prendre pendant la saison hivernale « pluvieuse » ; toute culture en sec est un pari que l'on ne gagne pas souvent.

Ce contraste, à si courte distance, paraît d'ailleurs exagéré, pour une variation climatique qui, en fait, est assez faible. En particulier, l'importante variation des sols, sur laquelle on aura à revenir en détail, est frappante : sommes-nous là de part et d'autre d'un seuil important ? Les paléoclimats furent-ils plus contrastés ? Quel rôle revient à l'évolution pédologique et géomorphologique des massifs montagneux dans cette différenciation ? Autant de questions auxquelles il faudra essayer de répondre.

On retiendra également l'importance du Quaternaire, dont les termes anciens sont particulièrement développés : rappelons que c'est une époque au cours de laquelle l'évolution du relief dans les massifs montagneux semble avoir été très active. Ce Quaternaire est à la fois le matériau-support et le cadre géomorphologique de tous les sols isohumiques qui seront étudiés dans les chapitres suivants. Son étude est cependant difficile si on ne procède pas en même temps à une étude pédologique, les sols et les mécanismes pédogénétiques ayant eu, semble-t-il, des rôles importants dans l'édification de ses dépôts, faciès et formes. Il n'est donc pas possible de présenter, comme cela se fait habituellement, les matériaux originels avant les sols : cette présentation ne peut être qu'interprétative et sera donc faite au cours de la troisième partie.

Soulignons, enfin, la grande variété des paysages dans ces plaines : associées aux massifs montagneux, encore plus diversifiés, elles constituent une région qui regroupe, sur quelques 2 000 km<sup>2</sup>, une gamme très étendue de paysages méditerranéens.

TABLEAU I. Moyennes des précipitations mensuelles et annuelles (en mm)

Stations	Altir. m	Années	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Ann.
<i>Bni Snassene</i>															
Aïn Almou	1300	1933-1968	38,1	56,1	96,2	86,0	62,6	74,0	99,0	79,6	14,8	0,8	3,0	23,9	634,1
Taforalt	850	1949-1968	37,6	45,2	80,2	86,7	43,3	78,5	96,8	68,2	11,5	0,9	1,6	19,1	579,6
<i>Triffa</i>															
Ahfir	250	1933-1960	40,7	33,0	52,2	75,7	52,7	47,4	56,7	35,9	6,5	0,1	0,9	22,9	424,7
Aïn Regada	220	1925-1961	39,3	44,7	61,6	52,5	49,6	37,9	41,3	34,4	7,9	1,1	2,3	25,3	397,9
Berkane	145	1917-1968	35,5	34,5	50,3	48,9	41,2	38,6	53,8	40,9	11,2	0,9	2,2	17,9	375,9
Boughriba (S.E.H.A.)	88	Calculé <sup>1</sup>	29	28	42	40	34	32	44	34	9	1	2	15	310
Madagh	80	1935-1959	27,0	21,0	45,2	42,2	37,8	38,4	41,0	27,4	7,2	0,3	2,4	22,9	312,8
Aïn Beida	65	1944-1958	20,5	22,5	30,7	52,9	23,7	34,7	55,7	22,9	5,1	0,0	0,0	11,8	280,5
Saïdia	5	1948-1959	30,7	20,8	45,0	67,5	37,2	47,1	68,9	28,6	3,4	0,4	0,7	12,5	362,8
<i>Zebra</i>															
Moulay Rechid	325	1948-1955	40	10	35	64,5	45,5	27	96,5	12	4	0	0	18,5	353
Zaïo	190	1942-1960	24	20	54	60	30	39	54	26	8	1	2	12	330
Granja Moulouya	70	1948-1958	35,5	19	34	66,5	21	42,5	53,5	35	7	0	0	14	328
Hassi Berkane	400	1948-1957	32	13	33	54	28	34	56	36	4	2	0	18	310
S.E.H.A.	125	Calculé <sup>1</sup>	25	24	36	35	30	28	38	30	8	1	2	13	270

Nombre de jours de pluie par an : 35 à 50.

1. Voir note explicative au tableau II.

TABLEAU II. Quelques exemples de l'irrégularité des précipitations annuelles (en mm)

Stations	1957- 1958	1958- 1959	1959- 1960	1960- 1961	1961- 1962	1962- 1963	1963- 1964	1964- 1965	1965- 1966	1966- 1967	1967- 1968	Moy. ann.
Aïn Almou	407,8	512,5	572,7	372,5	525,5	1 105,3	784,8			462,6	1 132,7	634,1
Taforalt	666,7	494,9	387,2	278,5	390,5	837,9	604,9	806,7	260,2	591,7	990,1	579,6
Berkane	391,5	387,5	321,1	278,7	356,7	805,0	621,6	592,7	135,3	390,2	718,9	375,9
Boughriba (S.E.H.A.)		265,3	159,7	200,6	311,2	627,2	640,7	532,3	136,2	372,5	584,3	310 <sup>1</sup>
Zebra (S.E.H.A.)					300,0	609,8	314,1	496,0	145,9	351,8	389,5	270 <sup>1</sup>

1. Depuis une dizaine d'années, les précipitations annuelles ont, en Basse Moulouya, sensiblement augmenté : en 1961, à Berkane, la moyenne sur 35 ans s'établissait à 350 mm ; en 1968, elle était montée à 376 mm. Les moyennes que l'on peut obtenir actuellement dans des stations ne fonctionnant que depuis peu de temps ne peuvent donc pas être comparées aux autres : elles sont trop élevées. C'est pour cette raison que les moyennes pluviométriques des stations de Boughriba S.E.H.A. et Zebra S.E.H.A., ont été calculées à partir de la moyenne de Berkane et des précipitations comparées depuis 1958.

TABLEAU III. Moyennes mensuelles et annuelles des températures (°C)

Stations	Alt. m	Années	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Ann.
<i>Triffa</i>															
Berkane	145	1925-1956	19,8	15,7	12,3	11,6	12,5	14,2	16,4	18,5	22,4	25,6	26,0	23,0	18,2
Boughriba (S.E.H.A.)	88	1955-1962	19,8	16,5	14,2	11,1	12,4	13,9	15,7	19,5	22,5	25,2	26,5	25,0	18,5
Madagh	80	1955-1959	20,1	14,9	10,6	11,1	11,3	14,0	15,7	19,0	20,3	23,8	25,8	24,5	17,6
<i>Zebra</i>															
Zaïo	190	1942-1955	21,5	18,5	14,5	13,5	13,0	15,5	18,5	21,0	25,5	28,5	30,0	26,5	20,5
Hassi-Berkane	400	1948-1955	19,0	16,0	11,5	10,5	11,5	13,5	15,5	18,5	21,5	26,0	26,5	23,0	17,7

TABLEAU IV. Les températures moyennes

Stations	1	2	3	Ecart	4	5	Ecart	6	7	Ecart
	°C	Mois	°C	Mois	°C	Mois	°C	Mois	°C	Mois
	°C		°C		°C		°C		°C	
<i>Triffa</i>										
Berkane										
(1925-1956)	18,2	Janv.	11,6	Août	26,0	14,4	Janv.	5,5	Août	32,8
Boughriba										
(S.E.H.A.)										
(1955-1962)	18,5	Janv.	11,1	Août	26,5	15,4	Janv.	6,1	Août	32,2
Madagh										
(1955-1959)	17,6	Déc.	10,6	Août	25,8	15,2	Déc.	3,9	Août	32,6
<i>Zebra</i>										
Zaïo										
(1942-1955)	20,5	Fév.	13,0	Août	30	17,0	Fév.	8	Août	37
Hassi Berkane										
(1948-1955)	17,7	Janv.	10,5	Août	26,5	16,0	Janv.	6,5	Août	32
S.E.H.A.										
(1961-1968)	19	Janv.	9	Juil.- Août	27	18	Janv.	4	Juil.- Août	33

1. — Moyenne annuelle.
2. — Moyenne mensuelle du mois le plus froid.
3. — Moyenne mensuelle du mois le plus chaud.
4. — Moyenne des minimums du mois le plus froid.
5. — Moyenne des maximums du mois le plus chaud.
6. — Minimum absolu moyen de l'année.
7. — Maximum absolu moyen de l'année.



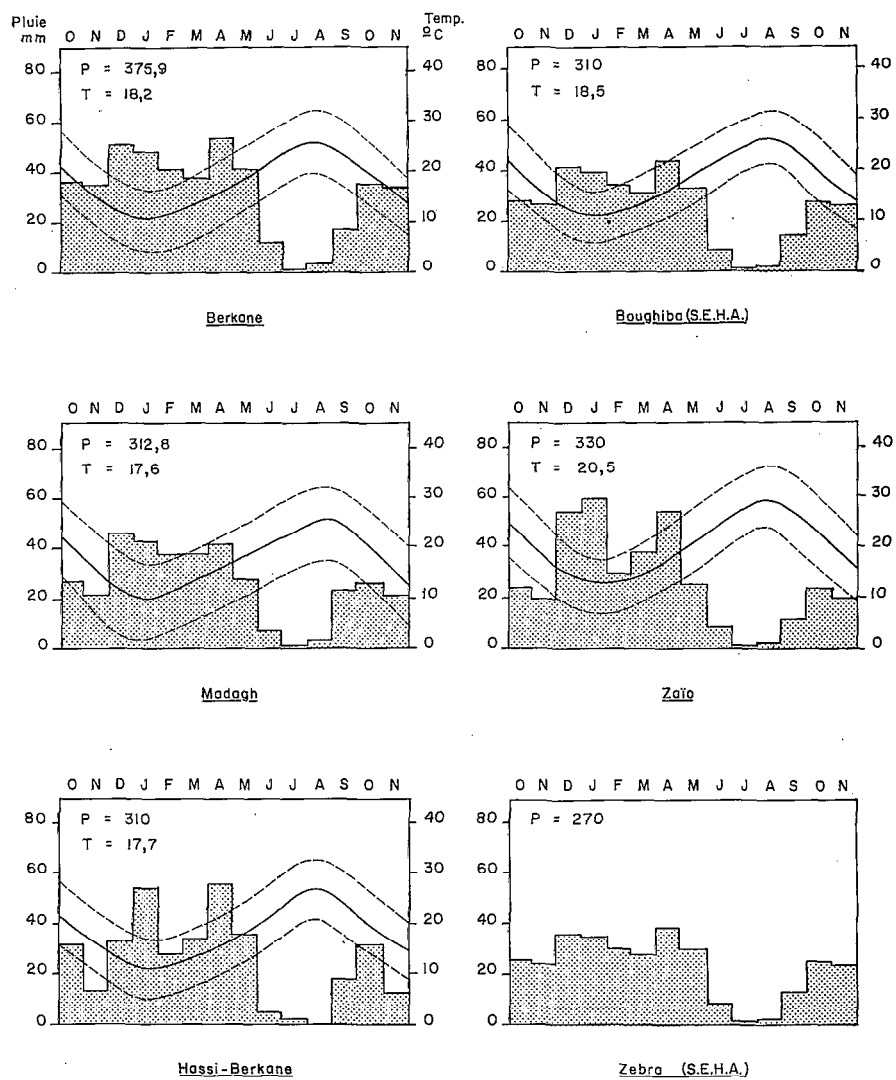


FIG. 5. — Climatogrammes.

TABLEAU V. Quelques données sur l'hygrométrie, l'insolation, le vent et l'évaporation

	Mois	Hygrométrie moyenne %			Insolation journalière moyenne h, mn	Vitesse moyenne du vent km/h	Evaporation journalière moyenne mm
		Maximum	Minimum	Moyenne			
S.E.H.A. Boughriba (1960-1968)	Octobre	94,5	44,2	74,1	6,50	4,6	3,9
	Novembre	95,4	45,2	74,2	5,54	5,1	3,0
	Décembre	95,0	49,8	75,1	5,10	7,8	2,5
	Janvier	94,0	50,7	76,4	5,22	12,2	2,3
	Février	95,0	47,3	75,3	5,57	8,7	2,8
	Mars	94,5	46,5	74,2	7,27	8,8	3,0
	Avril	94,7	45,8	73,2	7,42	8,6	3,1
	Mai	93,8	45,4	71,8	9,31	7,1	4,0
	Juin	93,9	47,3	72,4	9,27	10,3	4,6
	Juillet	91,7	41,7	68,4	10,33	9,5	5,6
S.E.H.A. Zebra (1961-1968)	Août	92,6	41,9	69,1	10,15	8,0	5,3
	Septembre	93,8	42,1	73,3	8,52	5,5	4,2
	Octobre	96,8	39,7	75,4	6,55		5,2
	Novembre	95,8	36,4	75,2	6,29		3,7
	Décembre	96,2	39,4	75,0	6,24		3,8
	Janvier	97,7	41,8	77,9	5,18		3,1
	Février	95,0	36,1	72,5	6,09		3,2
	Mars	95,9	36,1	72,7	6,54		4,5
	Avril	96,0	39,6	74,2	7,41		4,6
	Mai	95,2	32,5	68,3	8,26		6,3
	Juin	94,1	32,6	64,7	9,55		6,9
	Juillet	89,0	26,4	56,3	10,47		9,1
	Août	91,0	27,6	64,2	10,25		8,9
	Septembre	95,0	30,5	70,6	8,49		6,9

Evaporation moyenne annuelle :

— Boughriba : 1 350 mm ;

— Zebra : 2 020 mm.

TABLEAU VI. Quotients pluviothermiques d'Emberger

Stations	<i>P</i> mm	<i>m</i> °C	<i>M</i> °C	<i>Q</i>	Etage bioclimatique
<i>Bni Snassène</i>					
Ain Almou <sup>1</sup>	634,1	1,8	33,7	67,2	S. hum., frais
<i>Triffa</i>					
Berkane	375,9	5,5	32,8	47,1	S. ar., temp.
Boughriba (S.E.H.A.)	310	6,1	32,2	40	Ar. ; temp.
Madagh	312,8	3,9	32,6	37	Ar. ; temp.
<i>Zebra</i>					
Zaïo	330	8	37	39	Ar., chaud
Hassi Berkane	310	6,5	32	42	S. ar., temp.
S.E.H.A.	270	4	33	32	Ar., temp.

1. D'après Ch. SAUVAGE (1963).

*P* = Moyenne annuelle des précipitations en mm.

*M* = Moyenne des maximums du mois le plus chaud en °C.

*m* = Moyenne des minimums du mois le plus froid en °C.

*Q* = Quotient pluviothermique de L. EMBERGER (1955).

TABLEAU VII. Indices de Thorntwaite (1948)

Stations	<i>I.G.</i>	<i>E</i>	<i>Ia</i>	<i>Ih</i>	<i>C</i>	Types climatiques
<i>Triffa</i>						
Berkane	— 35,4	91,1	58,8	—	46,3	D B' <sub>3</sub> d a'
Boughriba (S.E.H.A.)	— 40,0	93,3	66,6	—	46,4	E <sub>1</sub> B' <sub>3</sub> d a'
Madagh	— 38,6	87,6	64,3	—	45,9	D B' <sub>3</sub> d a'
<i>Zebra</i>						
Zaïo	— 39,8	106,9	71,9	4,0	48,3	D B' <sub>4</sub> d b' 4
Hassi Berkane	— 39,1	91,9	72,5	4,0	46,1	D B' <sub>3</sub> d a'

*I.G.* = Indice global.

*E* = Evapotranspiration potentielle annuelle en cm.

*Ia* = Indice d'aridité.

*Ih* = Indice d'humidité.

*C* = Concentration estivale de l'efficacité thermique.

Types climatiques :

D = Semi-aride ;

E<sub>1</sub> = Aride ;

B' = Mésothermique ;

d = Sec, avec peu ou pas de surplus de précipitations ;

a' = C faible (< 48) ; b' = C moyenne (48-68).

---

## L'organisation morphologique des sols

Sur le terrain, dans les plaines de la Basse Moulouya, la description des sols se fait à partir de quatre caractères : le calcaire, la texture, la couleur et la structure. C'est en étudiant les répartitions verticales, obliques et horizontales de chacun de ces caractères que l'on peut dégager progressivement :

- les horizons pédologiques typiques de ces sols ;
- la disposition de ces horizons les uns par rapport aux autres ;
- les passages verticaux et latéraux existant entre eux ;
- enfin des unités de sols, des types de différenciation pédologique.

Ce chapitre est consacré à cette étude essentiellement morphologique ; elle s'appuie sur l'observation et l'analyse de plusieurs milliers de profils. Les descriptions et les résultats d'analyses de 30 de ces profils, choisis parmi les plus typiques, sont présentés en annexe (fiches n° 1 à 30).

Bien entendu, tous les caractères qui seront décrits dans ce chapitre, et les suivants, sont ceux de sols utilisés par l'homme et par ses animaux domestiques.

Dénominations des types de répartition et d'individualisation du calcaire dans les horizons Bca			Définitions et descriptions sommaires	Netteté des limites des horizons	Epaisseur des horizons	Couleurs	Dureté des horizons	Teneur en calcaire dans les horizons	Divers	
<u>Distribution diffuse</u>			Particules calcaires de dimensions < 1 mm, paraissant distribuées au hasard dans un horizon	Horizons Bca à distribution diffuse avec ou sans pseudo-mycéliums, Limites très diffuses, souvent non visibles						
Concentrations discontinues	<u>Pseudo-mycélium</u>		Filaments calcaires soulignant la porosité	Limites diffuses	Quelques dizaines de centimètres	En général plus claires que celles des horizons qui les entourent	Faible	< 40 %		
	<u>Amas friables</u>		Concentrations friables de calcaire, dispersées dans un horizon. Les limites de ces amas sont diffuses ou nettes ; les formes et les dimensions sont variées.							
	<u>Nodules</u>	<u>Granules</u> : vol. < 1 cm <sup>3</sup> <u>Nodules s.s.</u> : vol. = 1-100 cm <sup>3</sup> . <u>Roignons</u> : vol. > 100 cm <sup>3</sup>	Concentrations dures de calcaire, dispersées dans un horizon. Les limites de ces nodules sont nettes ; les formes sont variées, souvent sphériques, cylindriques ou coniques ; les structures internes sont variées.							
Concentrations continues = encroûtements	<u>Encroûtements non feuilletés</u>	<u>Encroûtements massifs</u>	Horizons très calcaires, de couleur claire, à structure massive ou polyédrique.	Limite généralement nette au sommet s'il n'y a pas de croûte, diffuse s'il y en a une. Limite diffuse à la base	Quelques dizaines de centimètres à quelques mètres ; le plus souvent 30 à 200 cm	Rose, crème ou blanc ; plus ou moins homogène ; petites taches noires	Moyenne à forte	> 60 %. Augmentation progressive du bas vers le haut.	Sous les encroûtements non feuilletés, il y a toujours des horizons à amas friables, avec ou sans nodules.	
		<u>Encroûtements nodulaires</u>	Horizons très calcaires, de couleur claire, à structure nodulaire et polyédrique.							
	<u>Encroûtements feuilletés</u>	<u>Croûtes</u>	Horizons très calcaires, à feuillets superposés et discontinus d'encroûtement massif ou nodulaire. Epaisseur des feuillets croissante du bas vers le haut : quelques mm à quelques centimètres.	Limites : nette au sommet, diffuse à la base, diffuse entre la croûte et la dalle.	Quelques centimètres à plus d'un mètre	Croûte : blanc à blanc-crème, parfois rose ; taches noires.  Dalle : Gris ou saumon ; zones blanchâtres.	Forte à très forte. Augmente du bas vers le haut.	> 70 %. Augmentation progressive du bas vers le haut.	Sous les croûtes, il y a presque toujours des encroûtements non feuilletés. Les dalles compactes n'existent qu'au sommet des croûtes.	
		<u>Dalles compactes</u>	Horizons très calcaires, à feuillets de croûte pétrifiés. Epaisseur des feuillets : quelques centimètres, jusqu'à 20 cm.							
	<u>Encroûtements lamellaires pellicules rubanées</u>		Feuillets très calcaires à structure finement lamellaire, recouvrant des surfaces dures, calcaires ou non		Limites nettes	Horizons Bca de pellicule rubanée Quelques millimètres à quelques centimètres		Blanc à saumon. Filets et lamelles sombres	Très forte.	> 80 %

TABLEAU VIII. Les principaux types d'horizons Bca. Description macromorphologique et classification

# I. MORPHOLOGIE ET RÉPARTITION DU CALCAIRE

Le calcaire existe dans toutes les formations quaternaires des plaines de la Basse Moulouya et tous les sols qui s'y développent sont calcaires, sur une partie ou sur toute l'épaisseur du profil. La répartition de cet élément, le long d'une coupe, est d'ailleurs toujours très visible : on est donc souvent tenté de commencer l'étude des profils par celle de la morphologie et de la répartition du calcaire. C'est un peu à cette tentation que je cède en abordant ici, en premier lieu, l'étude du calcaire.

## A. Etude macromorphologique de la distribution et de la concentration du calcaire dans les dépôts quaternaires et dans les sols.

Dans trois articles récents (BEAUDET, MAURER, RUELLAN, 1967; RUELLAN, 1967 b et 1968 a), une nouvelle nomenclature des formes d'individualisation et d'accumulation du calcaire, qui peuvent exister dans les dépôts quaternaires et dans les sols du Maroc, a été proposée.

---

### PLANCHE 4

#### 1. LES SOLS À PROFIL CALCAIRE MOYENNEMENT DIFFÉRENCIÉ DES PLAINES.

*Photo 1 :* Bca = à amas friables ;

Aca = calcaire ;

At = très clair ;

C = sans amas friables ni nodules : alluvions du Soltanien ancien ;

(Zebra ; profil n°s 13-4-59-6 ; fiche n° 10) ;

(sol brun-rouge subtropical ; calciorthid mollic) <sup>1</sup>.

*Photo 2 :* Bca = à amas friables et granules ;

Aca = calcaire ;

C = à amas friables et nodules : colluvions du Quaternaire moyen ;

(Bni Amir ; congrès de pédologie méditerranéenne, excursion au Maroc ; profil n° 1), (I.N.R.A., Maroc, 1966) ;

(sol brun-rouge subtropical ; calciorthid mollic) <sup>1</sup>.

*Photo 3 :* Bca = à amas friables et granules ; il s'agit presque d'un encroûtement nodulaire ;

Aca = calcaire ;

At = sombre ;

C = à amas friables : colluvions du Quaternaire moyen ;

(Bni Moussa ; Derouat) ;

(sol brun-rouge subtropical ; calcixeroll typic) <sup>1</sup>.

*Photo 4 :* Bca double : Bca 1 = à amas friables et granules ;

Bca 2 = à amas friables et nodules ;

Aca = non calcaire ;

At = clair ;

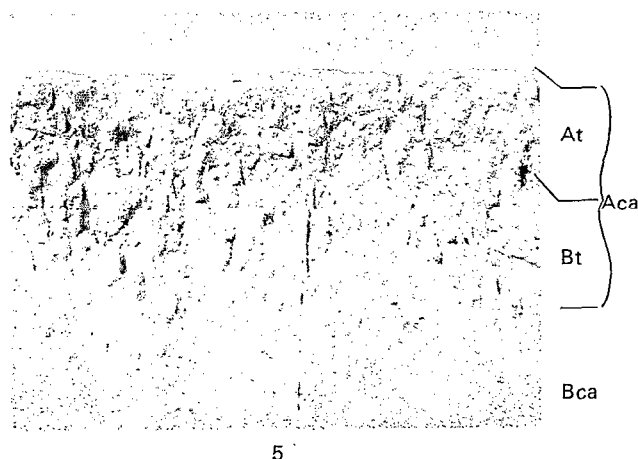
Bt = à structure prismatique ;

C = à amas friables, nodules et rognons : colluvions du Quaternaire moyen ;

(Triffa ; profil n° ABO-31 ; fiche n° 30) ;

(sol châtain-rouge subtropical ; palixeralf mollic) <sup>1</sup>.

1. Dénominations dans le cadre de la classification de G. AUBERT (1965 a et b) et de la classification américaine (U.S.D.A., 1967).



5

Photo 5 : Bca = à amas friables et nodules ;

Aca = non calcaire ;

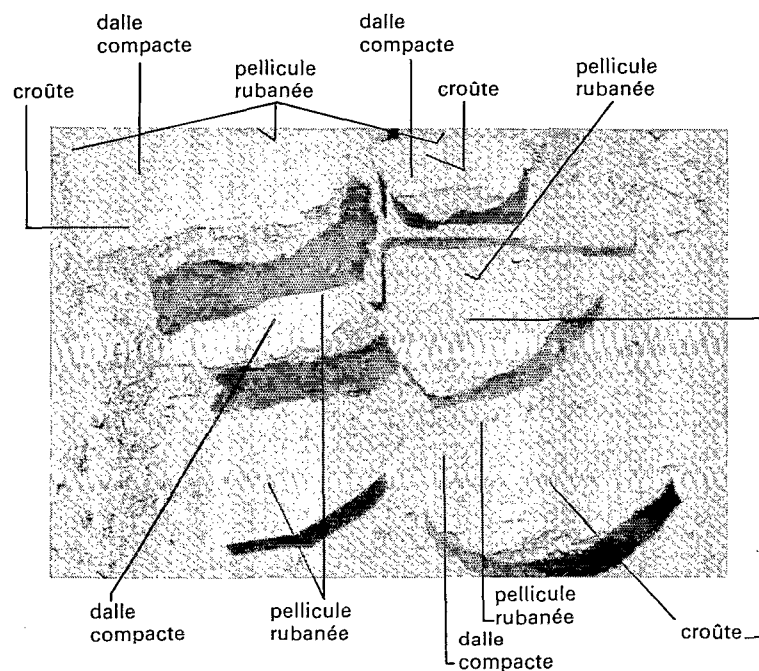
At = sombre ;

Bt = à structure prismatique ;

C = à amas friables et nodules : colluvions du Quaternaire moyen ;

(Bni Moussa ; congrès de pédologie méditerranéenne, excursion au Maroc ; profil n° 7), (I.N.R.A., Maroc, 1966) ;  
(sol châtain-rouge subtropical ; argixeroll calcic) <sup>1</sup>.

## 2. LES ENCROUTEMENTS FEUILLETÉS ET LAMELLAIRES (voir aussi les planches 5 et 6).



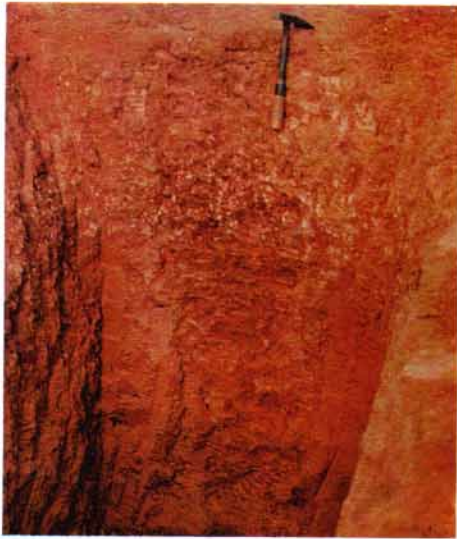
6

Photo 6 : Quelques exemples de croûtes, dalles compactes et pellicules rubanées.

NOTE : cette planche noire porte des corrections relatives aux photos 5 et 6 de la planche couleur p. 49.

1. Dénominations dans le cadre de la classification de G. AUBERT (1965 a et b) et de la classification américaine (U.S.D.A., 1967).





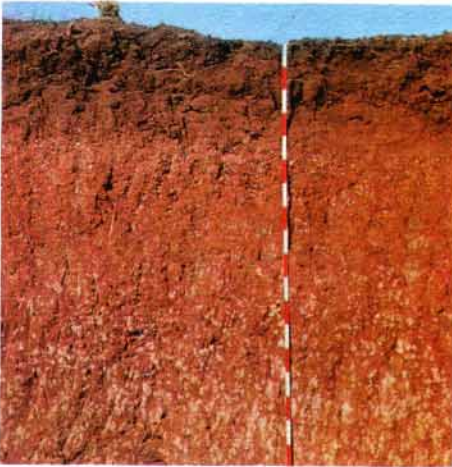
—  
Aca  
—  
Bca  
—  
C

1



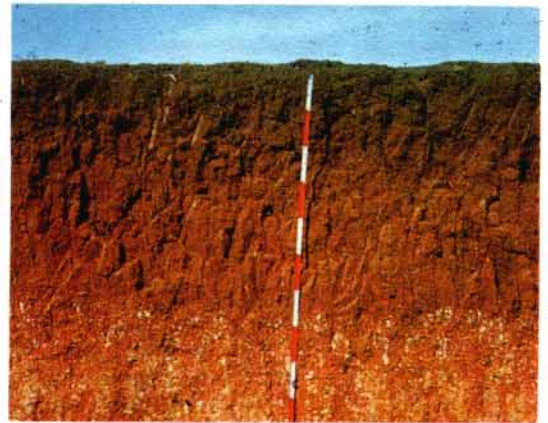
—  
At  
—  
Aca  
—  
Bt  
—  
Bca 1  
—  
Bca 2

4



—  
Aca  
—  
Bca  
—  
C

2



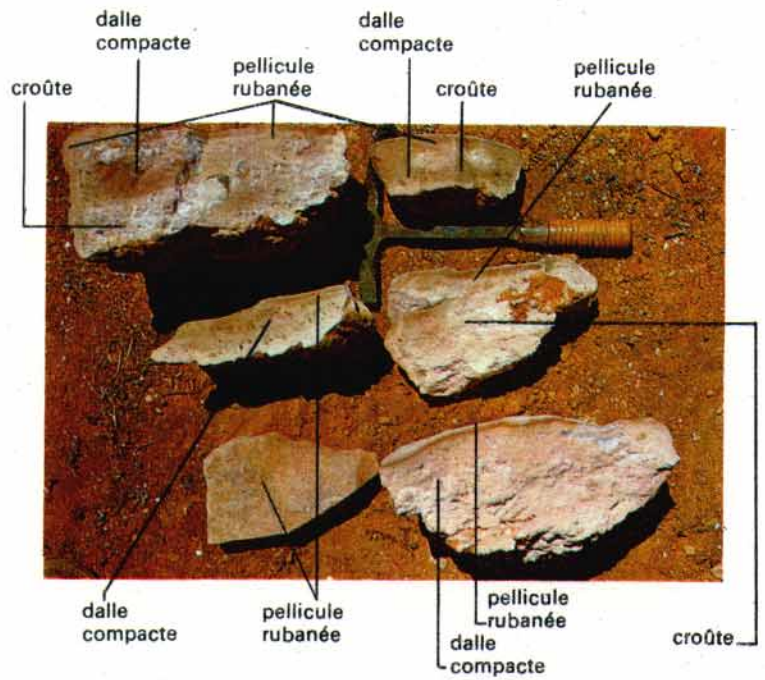
—  
At  
—  
Aca  
—  
Bt  
—  
Bca

5



—  
Aca  
—  
Bca  
—  
C

3



6



L'essentiel de cette nomenclature sera repris ci-dessous, avec cependant quelques modifications importantes, résultant principalement de discussions que j'ai eues avec G. BOCQUIER et S. HENIN.

Dans les formations alluviales et colluviales ou dans les horizons pédologiques qui se développent au sommet de ces formations, le calcaire peut être réparti et individualisé de trois façons différentes (tabl VIII, pl. 4, 5 et 6) :

- D'une façon qui, macromorphologiquement, apparaît diffuse ;
- Sous la forme de concentrations discontinues ;
- Sous la forme de concentrations continues.

### 1. Les distributions diffuses

Dans de nombreux horizons, le calcaire, mis à part les graviers et cailloux appartenant au matériau originel (« lithorelicts » ou « pedorelicts » : BREWER, 1964), n'est présent que sous la forme de particules fines, de dimensions égales ou inférieures à 1 mm : à l'œil nu, il est donc souvent assez difficile de reconnaître l'existence de ce calcaire. Ces particules paraissent distribuées au hasard dans la masse de l'horizon, mais les observations micromorphologiques montrent en fait que, selon les horizons, cette distribution peut être très variée, ainsi que les formes de la présence du calcaire. Il peut s'agir, selon la terminologie de BREWER, d'une part, de grains plus ou moins fins appartenant au « s-matrix » (fins cristaux dispersés dans le plasma ou grains plus grossiers appartenant au squelette), d'autre part de « pedological features » : « cutans », « calcitans », petits « glaeboles », fins « crystallarias », « neocutans ».

### 2. Les concentrations discontinues.

Dans certains horizons, au calcaire distribué d'une manière diffuse, difficilement visible à l'œil nu, vient s'ajouter du calcaire visible car concentré, individualisé, en un certain nombre de points séparés les uns des autres par des zones moins calcaires à distribution diffuse (ces zones peuvent même être très peu calcaires).

Les principales formes que ces concentrations discontinues de calcaire peuvent avoir, sont les suivantes :

a *Les pseudo-myceliums*, qui soulignent la porosité des horizons, et en particulier les pores d'origine radiculaire. Ce sont les formes filamenteuses de GILE (1961) et, dans la terminologie micromorphologique de BREWER (1964), cela correspond principalement à des « cutans » et « neocutans » (« channel-calcitans ») ou bien à des « crystallarias » (crystal tubes).

b *Les amas friables*, dont les formes et les dimensions sont variées. De couleur blanche à crème, avec taches de teintes rouge ou noire, il s'agit en général d'une forte concentration, non consolidée, de calcaire qui imprègne un ou plusieurs agrégats. Les limites de ces amas sont plus ou moins nettes. Ils sont l'équivalent des « nodules farineux » de J. H. DURAND (1953, 1959), des « soft nodules » de GILE (1961), des « taches calcaires » de WILBERT (1962), des « nodules type II » de BLOKHUIS, PAPE et SLAGER (1968/1969), des « white eyes » et des « concentrations of soft powdery lime » de la classification américaine (U.S.D.A., 1960, 1967). Dans la terminologie de BREWER ce sont soit des « nodules » soit des « crystallarias ». Mais ces amas friables peuvent aussi n'être que des imprégnations très faibles de calcaire, à limites très diffuses, ou encore de fines pellicules de calcaire qui tapissent les parois des agrégats ou les surfaces des graviers et des cailloux (ce sont alors des « cutans » : « calcans » ou « calcitans »).

c *Les nodules*, qui peuvent être définis comme étant des amas durs : à l'état sec, on ne peut pas les écraser avec les doigts. Par convention, on appelle « *granules* » les petits nodules, d'un volume inférieur à 1 cm<sup>3</sup>.

Comme pour les amas friables, les formes et les dimensions de ces nodules, appelés « nodules concrétionnés » par J. H. DURAND, sont variées. Le plus souvent, ils sont plutôt sphériques (ce sont les « *hard nodules* » de GILE, des « *glacubules* » dans la terminologie de BREWER, des « nodules type III » dans celle de BLOKHUIS, PAPE et SLAGER) ou cylindriques (« *cylindroids* » de GILE, « *glacubules* » ou « *crystal tubes* » de BREWER).

Le volume des nodules dépasse rarement quelques centimètres cubes. Dans la plaine des Triffa cependant, certains dépôts du Quaternaire moyen contiennent de très gros nodules, de forme cônica ou cylindrique, pouvant avoir plus de 5 cm de diamètre et une dizaine de centimètres de hauteur : on les nomme alors « *rognons* » ; on retrouve également ces rognons dans les horizons d'accumulation de certains sols rouges méditerranéens des Bni Snassène.

La dureté des granules et nodules est plus ou moins accentuée et la couleur intérieure varie souvent en fonction de cette dureté : quand ils sont très durs, ils sont généralement de teinte saumon, et ils tendent vers le blanc quand ils sont plus tendres. Cependant, leur dureté peut varier d'une façon importante en fonction de leur humidité : tendres quand on les prélève dans un horizon humide, ils durcissent rapidement en séchant à l'air. Par ailleurs, le durcissement est souvent hétérogène : le noyau peut être très dur, de couleur saumon, alors que, vers l'extérieur, le calcaire est plus tendre, plus blanc ; l'inverse est aussi possible mais plus rare. A signaler également la fréquence des inclusions de teintes rouges ou noires.

La structure interne des nodules est variée. Le plus souvent, cette structure est celle des « nodules » de BREWER, c'est-à-dire qu'il n'y a pas, en dehors des inclusions (sables, graviers) appartenant au squelette du sol, de structure particulière, sauf dans les gros nodules et les rognons qui peuvent être entourés d'une pellicule rubanée (voir § 3-c). On peut cependant retrouver aussi, dans certains nodules, d'autres structures décrites par BREWER : structures concentriques (concrétions) qui sont rares, présence de fentes radiales et concentriques (septarias), existence d'un vide central (pedodes), structures cristallines (crystallarias).

On peut assimiler aux nodules les revêtements stalagtitiformes qui se forment souvent sur les cailloux : le sommet du caillou n'est recouvert que par une fine pellicule de calcaire, tandis qu'une couche assez épaisse et, en général, assez dure, est accrochée, comme une barbe, à sa partie inférieure, l'ensemble caillou et calcaire formant une sorte de cône irrégulier dont la pointe est tournée vers le bas.

A signaler enfin que l'analyse des nodules n'a, jusqu'à présent, jamais permis de déceler des silicifications notables, en îlots ou en réseaux, auxquelles on pourrait attribuer une partie de la dureté.

### 3. *Les concentrations continues.*

A partir du moment où, dans un horizon, la concentration du calcaire, qu'elle soit diffuse, en amas ou en nodules, devient telle qu'elle fait disparaître, en très grande partie ou totalement, la couleur brune ou rubéfiée habituelle des sols et des dépôts, on donne à cet horizon le nom d'encroûtement calcaire. La teneur en carbonates est alors le plus souvent supérieure à 60% et la consolidation de l'horizon peut être très accentuée. Ces encroûtements sont l'équivalent des « K horizons » de GILE, PETERSON et GROSSMAN (1965) et correspondent aux « carapaces » définies en 1967 par BEAUDET, MAURER et RUELLAN. Lorsque leur dureté est suffisante, ce sont les horizons « petrocalcic » de la classification américaine.

Les principaux types d'encroûtements que l'on peut distinguer sont les suivants :

a *Les encroûtements non feuilletés*, parmi lesquels on peut distinguer deux types principaux :

— *Les encroûtements massifs*, d'aspect crayeux ou tuffeux. Ils sont de couleur assez homogène à tendance claire (rose, crème ou blanc avec souvent des petites taches noires). La structure est généralement massive ; elle est cependant parfois polyédrique ou finement feuilletée. La dureté est variable, mais en général plutôt faible. Ces encroûtements correspondent, semble-t-il, aux « formations pulvérulentes » de J. H. DURAND (et peut-être aussi à ses « encroûtements calcaires ») et au « tifikert ou tafezza homogène ou feuilleté » de J. BOULAINÉ (1957) (tifikert = formations dures ; tafezza = formations tendres, friables).

— *Les encroûtements nodulaires*, de couleur également claire mais moins homogène : ils sont essentiellement constitués par des nodules plus ou moins nombreux, pris dans une gangue très calcaire. La structure est à la fois nodulaire et polyédrique et elle peut être finement feuilletée. La dureté est en général assez forte, surtout quand l'encroûtement est très sec. Ce type d'encroûtement correspond probablement à une partie de ce que J. H. DURAND appelle « les nodules concrétionnés », à une partie des encroûtements granulaires et nodulaires » de WILBERT, et à ce que BOULAINÉ dénomme « tifikert ou tafezza nodulaire ».

b *Les encroûtements feuilletés*, parmi lesquels on doit distinguer les deux types principaux suivants :

— *Les croûtes*, constituées par la superposition de feuillets d'encroûtement durci mais non pétrifié, dans lesquels les teneurs en calcaire peuvent varier de 60 à plus de 90%. C'est le « tifikert zonaire » de BOULAINÉ, une partie de la « croûte zonaire » de J. H. DURAND, et le « K horizon » à structure « platy » de GILE, PETERSON et GROSSMAN. L'épaisseur des feuillets est variable : de quelques millimètres jusqu'à plusieurs centimètres. Ces feuillets ne sont pas continus : ils sont séparés par des fentes sub-horizontales, s'anastomosant entre elles, d'épaisseur variable : de quelques millimètres jusqu'à plusieurs centimètres. La structure interne des feuillets de croûte rappelle celle des encroûtements non feuilletés : elle peut être massive, nodulaire ou finement feuilletée. Les croûtes calcaires sont généralement blanches à blanc crème ; les taches noires sont fréquentes. Quand elles sont très dures, elles ont tendance à devenir plus roses ; on voit souvent des morceaux de croûte qui sont roses, très durs, très compacts (comme la dalle compacte) sur une épaisseur plus ou moins grande à partir du sommet et des côtés, le centre et la base restant blancs et plus tendres et le passage entre les deux faciès étant continu : c'est le passage de la croûte à la dalle compacte. L'analyse des croûtes ne révèle jamais la présence de silicifications notables, en îlots ou en réseaux, auxquelles on pourrait attribuer une partie de la dureté.

— *Les dalles compactes*, constituées par un ou plusieurs feuillets de calcaire, extrêmement durs, de couleur grise ou plus souvent saumon, chaque feuillet pouvant atteindre 10 à 20 cm d'épaisseur. Ces feuillets, que l'on peut qualifier de pétrifiés, sont généralement très continus, non brisés verticalement comme le sont souvent les croûtes, leur structure interne étant très massive ; il n'y a aucune structure finement lamellaire, mais assez souvent quelques cavités fines et allongées rappelant des fentes de retrait. La teneur en calcaire de ces dalles est fréquemment supérieure à 80%. Comme dans les croûtes, il n'y a pas de réseaux siliceux et les teneurs en silice sont faibles.

c *Les encroûtements lamellaires ou pellicules rubanées* : ce sont des formations très dures et très calcaires (plus de 70%), dont l'épaisseur varie de quelques millimètres à quelques centimètres. Ces formations sont très nettement stratifiées, constituées par la superposition d'une ou plusieurs séries de lamelles très fines ; ces séries sont parallèles entre elles ou, au contraire, se recoupent. La couleur générale de ces pellicules est blanche ou saumon, mais elles présentent toujours plusieurs filets et lamelles plus ou moins sombres, quelquefois bien noirs (matière organique ?).

Il est important de souligner que si les graviers et les cailloux sont fréquents dans les encroûtements massifs, nodulaires et feuilletés, ils sont par contre absents des pellicules rubanées.

Les pellicules rubanées sont l'équivalent du « tifikert rubané » de BOULAINÉ et du « K horizon » à structure « laminar » de GILE, PETERSON et GROSSMAN. Elles sont incluses dans la croûte zonaire de J. H. DURAND et dans la croûte lamellaire de WILBERT.

## B. La répartition du calcaire dans les dépôts quaternaires

Dans les formations quaternaires de la Basse Moulouya, comme dans celles de l'ensemble du Maroc, le calcaire, quand il existe, est toujours partiellement ou totalement distribué d'une façon diffuse.

Cependant, à cette distribution diffuse, viennent souvent s'ajouter des amas friables et des nodules, plus ou moins gros, dont il est intéressant d'étudier la répartition :

— Certains dépôts sont entièrement affectés par ces concentrations discontinues, et d'une façon homogène.

— D'autres dépôts sont également entièrement affectés, mais d'une façon hétérogène : ils présentent des couches, plus ou moins continues, et plus ou moins épaisses (quelques dizaines de centimètres à plus d'un mètre), où la densité des amas ou nodules est nettement plus forte. Il peut aussi y avoir des variations dans la proportion des nodules par rapport aux amas friables, ceci souvent en fonction de la texture des horizons : il semble en effet que la formation des concentrations dures soit favorisée par une texture plus grossière. D'une façon générale, cependant, les amas friables sont plus fréquents que les nodules dans les dépôts quaternaires.

— Dans d'autres cas, les amas ou nodules calcaires n'affectent pas toute l'épaisseur de la formation ; on ne les trouve que dans une ou plusieurs couches d'épaisseur variable.

— Les dépôts du Quaternaire récent (Soltanien et Rharbien) sont rarement affectés, en dehors de la zone de pédogenèse (dont l'épaisseur est faible), par l'apparition d'amas ou, encore moins souvent, de nodules calcaires. Par contre, le phénomène est général dans les dépôts plus anciens.

— Les amas et nodules apparaissent fréquemment, en quantités importantes, dans des dépôts qui, probablement, n'étaient pas, ou n'étaient que peu calcaires, lors de leur mise en place. Plusieurs exemples existent en Basse Moulouya et en particulier dans la plaine du Zebra, dans des dépôts qui proviennent de l'érosion des sols rouges sur pérites primaires de la chaîne des Kébdana. Un amont calcaire ou calcique est cependant présent.

— Ces phénomènes de concentration du calcaire dans les dépôts sont souvent accompagnés par certains indices d'un engorgement, probablement assez faible : structuration (en particulier structures polyédriques fines à faces lissées), plages de couleur plus grisâtre ou plus rubéfiée, poches plus argileuses, quelquefois concentration du fer.

### PLANCHE 5

LES FORMES DE L'ACCUMULATION ET DE LA CONCENTRATION DU CALCAIRE (voir aussi planches 4 et 6).

*Photo 1* : Amas friables à limites assez diffuses.

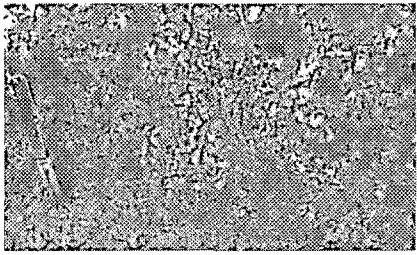
*Photo 2* : Amas friables à limites nettes.

*Photo 3* : Amas friables enveloppant des nodules.

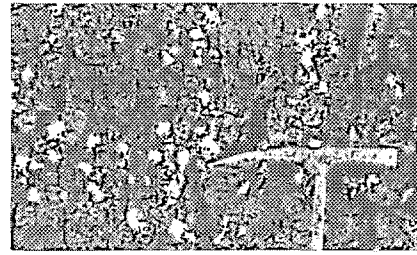
*Photo 4* : Nodules sphériques et cylindriques.

*Photos 5, 6, 7* : Sols à profil calcaire très différencié :

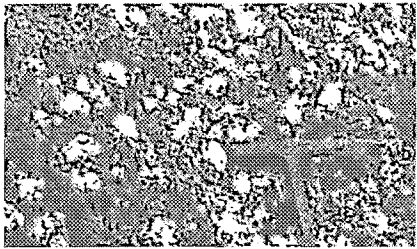
- *Photo 5* : Bca 1 = amas friables ;  
Bca 2 = encroûtement massif.
- *Photo 6* : cr = ébauche de feuillets de croûte ;  
en = encroûtement nodulaire.
- *Photo 7* : cr = encroûtement feuilleté = croûte ;  
en = encroûtement nodulaire.



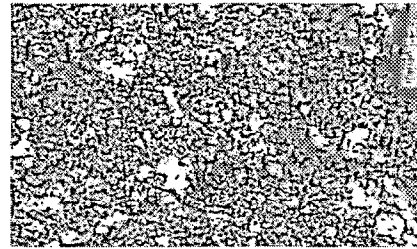
1



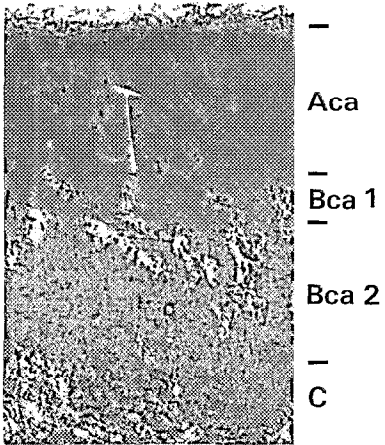
2



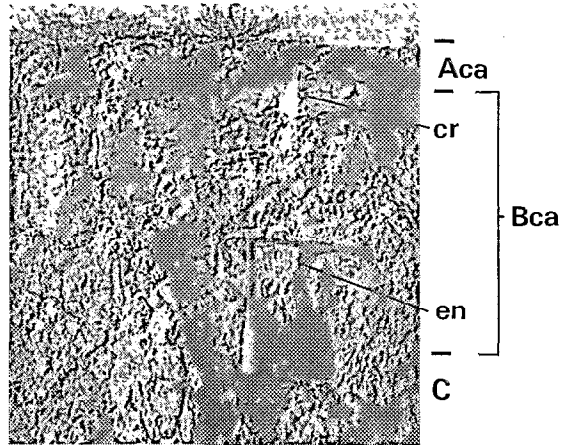
3



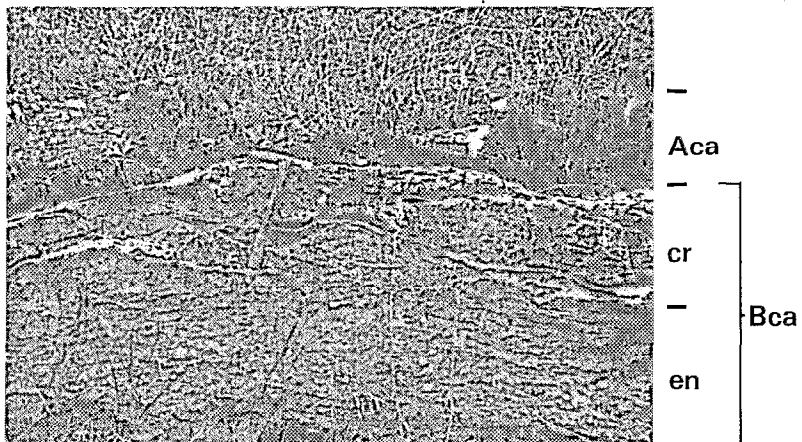
4



5



6



7

En ce qui concerne enfin les encroûtements, ils sont rares dans les dépôts quaternaires, dès que l'on est sous la zone de pédogenèse, à plus de 2-3 m de profondeur. Seules les vieilles et puissantes formations du Villafranchien peuvent en présenter, en particulier sous la forme de croûtes et de dalles dans des niveaux caillouteux.

### C. La répartition du calcaire dans les sols.

L'étude de la répartition verticale du calcaire dans les sols isohumiques de la Basse Moulouya, conduit en général à distinguer trois horizons principaux :

— Dans la partie moyenne du sol, un horizon où la teneur en calcaire est plus élevée que dans ceux situés au-dessus et au-dessous : en somme cet horizon apparaît comme un horizon d'accumulation du calcaire (et je démontrerai que c'est, en effet, le cas) et il peut donc être appelé Bca, sans que cette appellation B implique pour autant, soit un certain type de mécanisme, soit l'accumulation, au même niveau, d'autres éléments, l'argile par exemple. Dans cet horizon, le calcaire est en général visible, individualisé en concentrations discontinues ou continues, cette individualisation étant toujours différente et en général plus importante que celle de l'horizon situé au-dessous.

— Au-dessus de cet horizon Bca, le calcaire est moins abondant ou absent, sa distribution, quand il existe, étant toujours diffuse : sur le plan du calcaire, on a donc là un horizon A ; par convention je l'appellerai : Aca, qu'il soit calcaire ou non.

— Au-dessous de l'horizon Bca, c'est l'horizon C : on est là au niveau du matériau originel, dont la définition est toujours délicate ; le calcaire y est moins abondant qu'en Bca, mais toujours présent et souvent bien individualisé.

#### 1. Les divers types d'horizon Bca.

Dans les sols isohumiques, l'horizon Bca peut être (tabl. VIII) :

— Un horizon de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur, à distribution diffuse du calcaire, avec parfois des pseudo-mycéliums ; les limites inférieure et supérieure de cet horizon sont toujours difficilement visibles.

— Un horizon de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur où le calcaire est partiellement concentré sous la forme d'amas friables ou de nodules, seuls ou associés. Cet horizon est généralement surmonté par un horizon où le calcaire s'accumule déjà sous forme diffuse (accumulation diffuse qui se poursuit d'ailleurs dans l'horizon à amas ou nodules). A sa base, le passage à l'horizon C se fait par un horizon à accumulation diffuse ou par un horizon où le calcaire est concentré mais d'une façon moins dense (et quelquefois différente) que dans l'horizon Bca.

— Un encroûtement, seul ou associé à d'autres formes d'accumulation. Son épaisseur peut varier de 10 à plus de 200 cm d'épaisseur. Sa limite supérieure est toujours nette et sa teneur en calcaire, maximum au sommet, décroît en profondeur : à sa base il y a passage progressif à un horizon à amas ou nodules. Cet encroûtement, coiffé ou non par une pellicule rubanée, peut être composé :

- d'un encroûtement non feuilleté, seul ;
- d'une croûte seule (cas rare) ;
- d'une croûte surmontant un encroûtement non feuilleté ;
- d'une dalle compacte surmontant une croûte et un encroûtement non feuilleté.

Un horizon Bca est donc presque toujours formé de plusieurs horizons superposés, différents les uns des autres par la macromorphologie du calcaire, horizons qui sont les suivants :

a *Des horizons à distribution diffuse*, que l'on distingue en général des horizons moins calcaires situés au-dessus ou au-dessous, par une teinte plus claire et, assez souvent, par la présence, à certaines périodes de l'année, de pseudo-mycéliums. Cependant, assez souvent, seul le dosage du calcaire permet de déceler leur présence.

La teneur en calcaire de ces horizons est d'ailleurs assez variable d'un sol à l'autre. Elle dépend de la richesse en calcaire des matériaux originels dans lesquels ils se forment ; elle n'est pas la même si cette accumulation est la seule présente dans le sol (par exemple : accumulation de calcaire dans des sols peu différenciés) ou si elle annonce des horizons plus riches situés au-dessus ou au-dessous d'elle ; elle est aussi variable à l'intérieur de l'horizon lui-même : en général, entre deux limites qu'il est difficile de situer, la teneur en calcaire croît puis décroît régulièrement du haut vers le bas ; ou bien elle croît régulièrement vers le bas ou vers le haut, quand on se rapproche d'un horizon plus riche, un encroûtement par exemple. Cependant, le plus souvent, la teneur maximum en calcaire ne dépasse pas 30 à 40%, et c'est surtout dans la fraction texturale limoneuse (2-10  $\mu$ ) que l'on voit le taux de calcaire augmenter.

L'épaisseur de ces horizons à distribution diffuse est variable : quelques dizaines de centimètres en moyenne.

b *Des horizons à amas friables* qui, comme les précédents, peuvent constituer la totalité de l'horizon Bca, ou bien seulement les parties supérieure et inférieure d'une accumulation plus puissante (d'un encroûtement ou d'une croûte par exemple).

Dans les horizons Bca à amas friables, la densité de ces amas est très variée et par le jeu de cette densité et de l'accumulation diffuse qui se développe aussi entre les amas, la teneur en calcaire de l'horizon peut présenter les mêmes variations que celles décrites ci-dessus pour les Bca à distribution diffuse. Il faut cependant préciser les points suivants :

— On ne parle d'horizon à amas friables que si dans cet horizon les amas sont nettement séparés les uns des autres par de la terre brune ou rubéfiée qui peut être calcaire ou non. Quand ces amas deviennent suffisamment grands et nombreux pour venir en contact les uns avec les autres, on passe à l'encroûtement.

— Dans ces conditions, la teneur en calcaire de ces horizons (terre brune + amas) dépasse rarement 50%, les amas eux-mêmes pouvant par contre en contenir jusqu'à 80-90%.

— Les horizons Bca à amas friables ne sont pas obligatoirement des horizons plus riches en calcaire que Aca et C : il peut y avoir seulement concentration et individualisation du calcaire déjà présent.

c *Des horizons à nodules* qui contiennent toujours également des amas friables. Les caractères et la position de ces horizons sont à peu près identiques à ceux qui ont été décrits ci-dessus pour les horizons à amas friables. Cependant, à la différence de ces derniers, les niveaux Bca à nodules (amas et granules ou amas, granules et nodules) sont toujours plus riches en calcaire que les horizons Aca et C, la teneur en carbonates pouvant y atteindre 60%.

d *Des encroûtements non feuilletés*, massifs ou nodulaires. En plus des caractères déjà décrits dans le § A-3-a, on doit, à leur sujet, souligner les quelques points suivants :

— Leur épaisseur peut varier de quelques centimètres jusqu'à plusieurs mètres. Le plus souvent cependant, elle oscille entre quelques dizaines de centimètres et un ou deux mètres.

— Quand l'encroûtement non feuilleté n'est pas surmonté par une croûte, sa limite supérieure est presque toujours bien tranchée. L'horizon situé au-dessus est alors nettement moins calcaire mais peut contenir des amas friables et des nodules.

— Au contraire, quand l'encroûtement non feuilleté est surmonté par une croûte, il y a généralement passage progressif de l'un à l'autre : l'encroûtement, vers le haut, devient de plus en plus feuilleté, de plus en plus compact, de plus en plus dur.

— La base des encroûtements est presque toujours peu marquée : il y a passage progressif à des horizons à amas friables ou à nodules. De même, dans une chaîne de sols, les encroûtements

non feuilletés peuvent passer latéralement, vers l'aval ou vers l'amont, à des horizons à amas friables ou nodules.

— La teneur en calcaire des encroûtements non feuilletés est toujours très élevée, supérieure à 60%. Presque toujours, elle augmente progressivement du bas vers le haut.

e *Des croûtes*, dont les caractéristiques principales, en plus de celles données dans le § A-3-b, sont les suivantes :

— Les feuillets qui les constituent peuvent être assez épais en surface (plusieurs centimètres), mais ils sont toujours de plus en plus fins quand on va du haut de l'horizon vers le bas. De même, les fentes qui séparent ces feuillets sont de plus en plus fines quand on va vers la profondeur : vers le haut, ces fentes peuvent avoir jusqu'à plusieurs centimètres d'épaisseur et sont alors souvent remplies par de la terre qui semble provenir de l'horizon situé au-dessus de la croûte.

— La teneur en calcaire et le durcissement de la croûte diminuent toujours de haut en bas. Il peut y avoir plus de 90% de calcaire en surface et souvent le feuillet tout à fait supérieur a partiellement l'aspect de la dalle compacte.

— Le sommet d'une croûte est, en général, nettement dessiné. Cependant, quand elle n'est pas protégée par une dalle compacte, le feuillet supérieur est souvent disloqué et se mêle à la base de l'horizon situé au-dessus.

— A la base de la croûte, on trouve généralement un encroûtement non feuilleté, le passage entre les deux horizons étant toujours progressif : c'est l'apparition d'un feuilletage prononcé qui marque la limite entre les horizons, cette limite étant cependant souvent assez difficile à placer d'une façon précise.

— Latéralement, dans une chaîne de sols, le passage d'une croûte à un encroûtement non feuilleté est également un fait courant.

#### PLANCHE 6

LES FORMES DE L'ACCUMULATION ET DE LA CONCENTRATION DU CALCAIRE (voir aussi planches 4 et 5).

##### *Sols à profil calcaire très différencié*

*Photo 1 :* cr = encroûtement feuilleté = croûte ;  
en = encroûtement nodulaire.

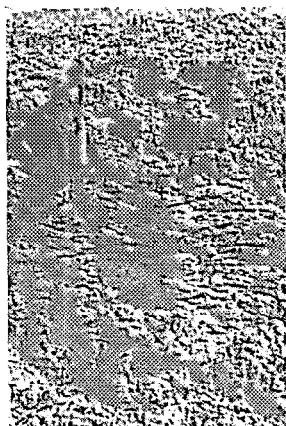
*Photo 2 :* en.f. = encroûtement feuilleté ;  
d = dalle compacte ;  
cr = croûte ;  
en = encroûtement non feuilleté ;  
C = horizon C à amas friables et nodules.

*Photo 3 :* cr = encroûtement feuilleté = croûte ;  
en = encroûtement massif ;  
C = horizon C à amas friables.

*Photo 4 :* p = encroûtement lamellaire = pellicule rubanée ;  
en.f. = encroûtement feuilleté ;  
d = ébauche d'une dalle compacte ;  
cr = croûte ;  
en = encroûtement massif à tendance nodulaire ;  
C = horizon C à amas friables et nodules.

*Photo 5 :* Epais feuillets de dalle compacte situés au sommet d'un encroûtement appartenant à un sol développé sur une surface villafranchienne.





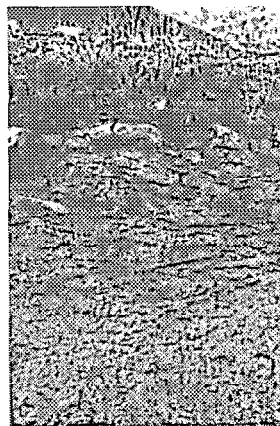
Aca

cr

en

Bca

1



Aca

d

cr

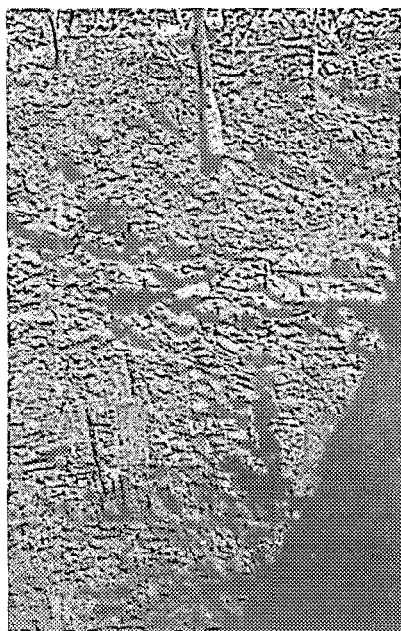
en

C

en.f.

Bca

2



Aca

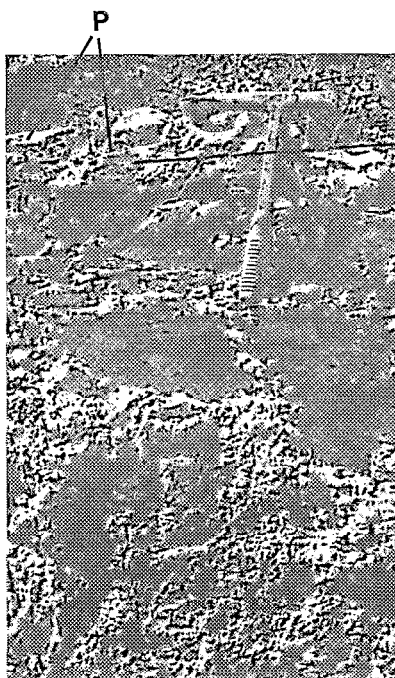
cr

en

Bca

C

3



P

Aca

d

cr

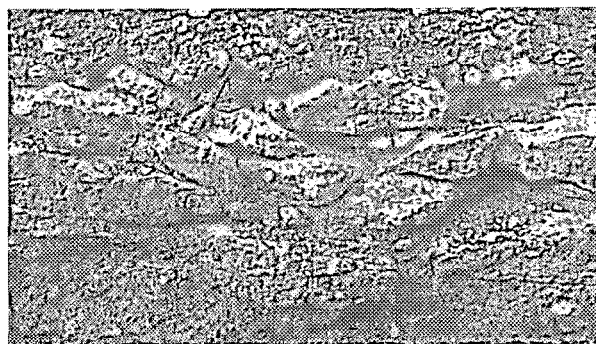
en

C

en.f.

Bca

4



5

f *Des dalles compactes* qui, en Basse Moulouya, ne sont bien développées qu'au sommet de croûtes calcaires épaisses. Mais il existe souvent des formations intermédiaires entre les croûtes et les dalles compactes : ce sont des feuillets de croûte, durcis au sommet comme des dalles compactes (pl. IV, photo 6) ; ces feuillets constituent soit le sommet d'une croûte, soit un horizon intermédiaire entre la croûte et la dalle compacte. Les dalles compactes elles-mêmes peuvent être irrégulièrement consolidées, c'est-à-dire qu'elles contiennent, généralement vers la base, des zones à forme de noyaux ou de trainées qui sont encore blanchâtres et assez tendres. Il y a en somme toute une série d'intermédiaires entre les croûtes et les dalles compactes.

g *Des pellicules rubanées* qui se développent au sommet des dalles compactes, des croûtes (quand la dalle compacte n'existe pas), des encroûtements durs non feuilletés (quand il n'y a pas de croûtes), et aussi sur des roches dures peu perméables (il s'agit en général de roches calcaires). Elles apparaissent comme posées sur les surfaces dont elles épousent toutes les irrégularités. On peut souvent en distinguer deux ou trois niveaux nettement séparés, différents par les couleurs et les stratifications : ce sont des pellicules superposées, qui fréquemment se recoupent.

Quand elles recouvrent une croûte, ces pellicules tapissent toutes les surfaces supérieures et latérales des morceaux du feuillet supérieur, disloqué, de la croûte ; mais elles ne se développent que très peu ou pas du tout à la base du feuillet. Par ailleurs, quand les fentes sub-horizontales qui séparent les feuillets de croûte sont assez larges, la pellicule rubanée peut venir recouvrir les parois de ces fentes, surtout les parois inférieures (faces supérieures des feuillets de croûte). Elle s'introduit également souvent dans les diaclases des roches.

## 2. Position des horizons Bca.

Les horizons dans lesquels le calcaire est concentré d'une façon discontinue ou continue ne sont jamais situés en surface, sauf dans quelques rares cas dont l'érosion récente semble responsable. En particulier, les encroûtements que l'on trouve fréquemment sur des buttes, sur des plateaux totalement isolés, sur des pentes souvent assez fortes, sont presque toujours situés sous des horizons Aca de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur.

La profondeur à laquelle commencent les horizons Bca est, dans une région donnée, assez constante, à part, bien entendu, les zones d'accumulation et d'érosion récentes. Par contre, d'une région à l'autre, l'épaisseur moyenne de l'horizon Aca peut varier : cette variation reste cependant assez faible, de l'ordre de quelques dizaines de centimètres. En Basse Moulouya cette épaisseur de l'horizon Aca est de 30-50 cm dans les zones arides (Zebra), de 40-70 cm dans les secteurs semi-arides (Triffa).

## 3. Rapports entre les horizons Aca et les horizons Bca.

a *Transition entre les deux horizons* : le passage de l'horizon superficiel, moins calcaire, à l'horizon d'accumulation, se fait selon des règles assez précises, mises en évidence par des séries d'observations verticales et latérales.

Tout d'abord, dans un sol où l'accumulation du calcaire est diffuse, ou à amas, ou à nodules, il y a, du haut vers le bas, augmentation progressive de la teneur en calcaire quand on passe d'un horizon à l'autre : on ne peut pas placer de limite précise. Puis au fur et à mesure que latéralement on va vers des Bca plus riches en calcaire, il apparaît que le passage entre les deux horizons devient de plus en plus net, que l'augmentation du calcaire est de plus en plus rapide, ceci étant dû au fait que c'est surtout au sommet du Bca que la richesse en calcaire s'accroît. Et quand on arrive aux encroûtements, l'apparition de l'accumulation du calcaire devient brutale : il n'y a plus de transition, le sommet des encroûtements étant toujours très net.

Cependant, quand les encroûtements calcaires se terminent par une croûte, une dalle ou une pellicule rubanée, on en retrouve souvent des éléments à l'intérieur de l'horizon superficiel : ceci

peut faire supposer que cet horizon Aca est un apport allochtone qui est venu recouvrir et remanier l'encroûtement. En réalité, il semble plutôt qu'il s'agisse là d'un remaniement presque sur place, sans véritable transport. En effet :

— Quand on passe latéralement d'un sol à croûte à un sol à encroûtement non feuilleté, rapidement les horizons supérieurs ne contiennent plus de morceaux de croûte.

— Dans les horizons Aca, les morceaux de croûte qui semblent avoir été arrachés à l'encroûtement et remontés, souvent jusqu'à la surface du sol (30 à 40 cm au-dessus de la croûte en place), peuvent être dans des positions assez inclinées mais ils ne sont jamais renversés. On voit d'ailleurs souvent des feuillets assez longs de croûte qui partent en oblique à travers l'horizon superficiel, depuis l'encroûtement, et vont quelquefois jusqu'à la surface du sol.

— Que l'horizon supérieur de l'encroûtement soit une croûte ou un encroûtement non feuilleté, il est rare d'observer qu'il est vraiment raviné, ce qui serait probablement le cas si l'horizon superficiel du sol avait été mis en place postérieurement à la formation de l'encroûtement.

b *Teneur en calcaire et épaisseur des deux horizons* : sur ce plan, les faits démontrent une indépendance presque totale entre les deux horizons. En effet (voir fig. 8, 9 et 10) :

— Il n'y a aucune corrélation entre la teneur en calcaire d'un horizon superficiel et la puissance (épaisseur et richesse en calcaire) de l'accumulation. Qu'il s'agisse d'un horizon à amas friables de 30 cm d'épaisseur ou d'un encroûtement de 2 m, l'horizon Aca peut être non calcaire ou en contenir 20 à 30%.

— De même, il n'y a pas de corrélations systématiques entre l'épaisseur de l'horizon Aca et la puissance de l'accumulation. A peine constate-t-on en Basse Moulouya que les accumulations de calcaire sont un peu plus puissantes dans la cuvette des Triffa où, justement, les horizons supérieurs sont un peu plus épais. Mais dans la plaine du Zebra comme dans la plaine des Triffa, l'épaisseur de l'horizon supérieur peut être la même dans un sol à amas friables et dans un sol à encroûtement, et dans une chaîne de sol on constate même souvent que l'épaisseur de Aca augmente quand la puissance de Bca diminue.

Une certaine contradiction semble donc apparaître entre les faits rapportés dans les §§ a et b, les premiers pouvant permettre de démontrer que les horizons Aca et Bca sont bien ceux d'un même sol et non deux dépôts différents, les deuxièmes tendant au contraire à prouver une indépendance entre les deux horizons. Nous verrons qu'en réalité il n'y a pas là contradiction, si on admet que l'accumulation du calcaire n'est pas seulement le résultat d'un lessivage vertical des horizons Aca.

#### 4. *Rapports entre les horizons Bca et C.*

Les quelques remarques suivantes sont importantes :

a) Quel que soit le type de concentration et d'accumulation du calcaire, il y a toujours passage progressif entre les horizons Bca et C, le calcaire, en général, diminuant graduellement, du haut vers le bas, depuis le maximum de l'accumulation jusqu'au matériau originel. S'il s'agit d'un Bca à amas ou nodules et si l'horizon C contient lui-même du calcaire en concentrations discontinues, la morphologie et la densité de ces concentrations ne sont pas les mêmes dans les deux horizons qui sont séparés par une limite progressive mais distincte. S'il s'agit d'un encroûtement, c'est son sommet qui est le plus riche en calcaire et le plus dur : les encroûtements voient toujours leur teneur en calcaire et leur consolidation diminuer peu à peu vers le bas, et la limite inférieure de ces encroûtements, c'est-à-dire de l'horizon à structure massive ou nodulaire, qui passe à un horizon à amas, ou nodules, est toujours très progressive.

b) Il n'y a aucun rapport entre la richesse en calcium ou calcaire du matériau originel et la puissance des accumulations. En particulier tous les types d'accumulation de calcaire peuvent se développer dans des matériaux qui n'étaient pas calcaires lors de leur mise en place (schistes ou colluvions de schistes par exemple). Il y en a de beaux exemples en Basse Moulouya (piémont des

collines schisteuses des Kibdana en particulier). Cependant, la présence d'un bassin versant calcaire ou pour le moins calcique, est indispensable.

c) Le matériau originel a, par sa texture, une influence certaine sur les formes que prennent les accumulations de calcaire. En particulier, dans une région climatique donnée, les nodules et les encroûtements nodulaires sont favorisés par les textures grossières. Par ailleurs, les encroûtements très durs sont mieux développés dans les matériaux grossiers (dans et sur les dépôts entièrement caillouteux, il y a souvent un ou plusieurs niveaux de croûte mince et très dure, le reste du dépôt n'étant pas ou étant peu encroûté). Tout ceci, étudié récemment par GILE, PETERSON et GROSSMAN (1966), n'est pas à traduire en lois absolument systématiques, mais il est certain que sur le terrain on observe souvent que la morphologie des accumulations de calcaire se modifie rapidement en fonction des variations de la texture des matériaux.

L'individualisation et l'accumulation du calcaire, jusqu'à l'encroûtement le plus dur, apparaissent donc bien comme s'étant formées dans un matériau préexistant : on ne peut pas, par exemple, imaginer qu'une croûte ou une dalle compacte soit un apport superposé au matériau sous-jacent. Mais il apparaît aussi que ce n'est pas du matériau originel sous-jacent que provient l'essentiel du calcaire accumulé dans l'horizon Bca.

##### 5. Relations verticales entre les divers faciès de l'horizon Bca.

Il serait trop long de décrire toutes les combinaisons et corrélations possibles : l'essentiel est schématisé dans la figure 6. On rappellera seulement que :

— En dehors des phénomènes d'altération superficielle, la limite supérieure d'un encroûtement est toujours très nette, très brutale.

— Par contre, les limites des horizons qui constituent un encroûtement, sauf pour la pellicule rubanée et quelquefois la dalle compacte, et sa limite inférieure sont toujours assez diffuses : ce sont des transitions progressives et il y a augmentation constante de la teneur en calcaire du bas vers le haut.

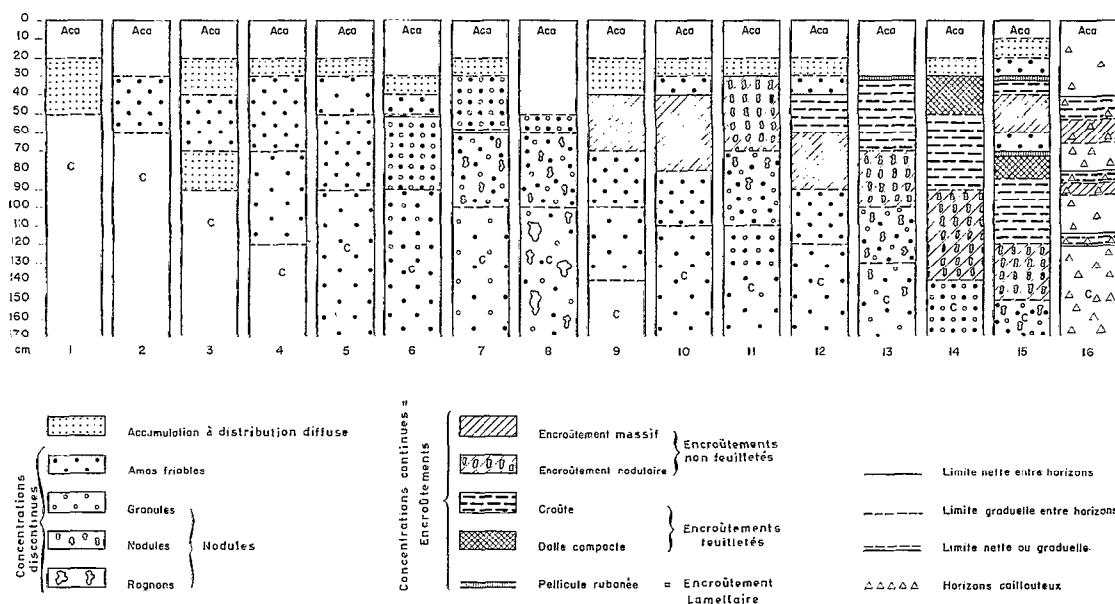


FIG. 6. — Quelques exemples de corrélations verticales entre les divers faciès de l'horizon Bca, et entre les horizons Aca, Bca et C des sols de la Basse Moulouya (voir fiches de profil nos 6 à 30).

— Les limites supérieure et inférieure d'une accumulation diffuse ou d'une accumulation à amas ou nodules, sont généralement peu marquées.

— Il arrive assez souvent qu'un encroûtement soit surmonté par un horizon où l'accumulation et la concentration du calcaire sont moins marquées (par exemple : horizon à amas sur encroûtement non feuilleté ou croûte ; encroûtement non feuilleté ou croûte sur dalle). Ce sont des horizons Bca doubles ou triples que j'interpréterai comme étant le résultat de deux ou trois cycles successifs d'accumulation du calcaire.

#### 6. Les variations latérales de l'horizon Bca.

Au niveau de l'horizon Bca, les passages latéraux progressifs entre les diverses formes d'accumulation et de concentration du calcaire, sont fréquents. On passe ainsi couramment d'un horizon à amas, à un horizon à nodules ; d'un horizon à amas ou nodules à un encroûtement massif ou nodulaire ; d'un encroûtement nodulaire à un encroûtement massif ; d'un encroûtement non feuilleté à une croûte ; d'une croûte à la dalle compacte. Et il s'agit bien là de passages latéraux et non de la superposition d'un encroûtement non feuilleté sur un horizon à amas ou nodules, ou de la superposition d'une croûte sur un encroûtement non feuilleté : il y a augmentation progressive de la teneur en calcaire de la partie supérieure du Bca à concentrations discontinues qui se transforme ainsi en encroûtement non feuilleté, puis passage du sommet de cet encroûtement non feuilleté à une croûte qui va s'épaissir et dont les feuillets supérieurs durciront de plus en plus jusqu'à devenir une dalle compacte. C'est ce qui a été schématisé sur la figure 7. La pellicule rubanée, par contre, vient toujours se superposer, d'une façon discontinue, sur un encroûtement non feuilleté, une croûte ou une dalle.

#### 7. Conclusion.

Hormis les cas où les encroûtements sont surmontés par des accumulations moins puissantes (Bca doubles ou triples), les différentes formes d'accumulation et d'individualisation du calcaire apparaissent donc comme étroitement associées :

— Les distributions diffuses, les amas friables et les nodules peuvent être présents dans les mêmes horizons.

— Les passages verticaux et horizontaux semblent montrer que les encroûtements non feuilletés dérivent d'horizons à concentrations discontinues, que les croûtes dérivent des encroûtements non feuilletés et que les dalles compactes dérivent des croûtes ; seules les pellicules rubanées paraissent assez indépendantes, encore qu'on ne les trouve que sur les encroûtements et les roches dures (et dans les fentes).

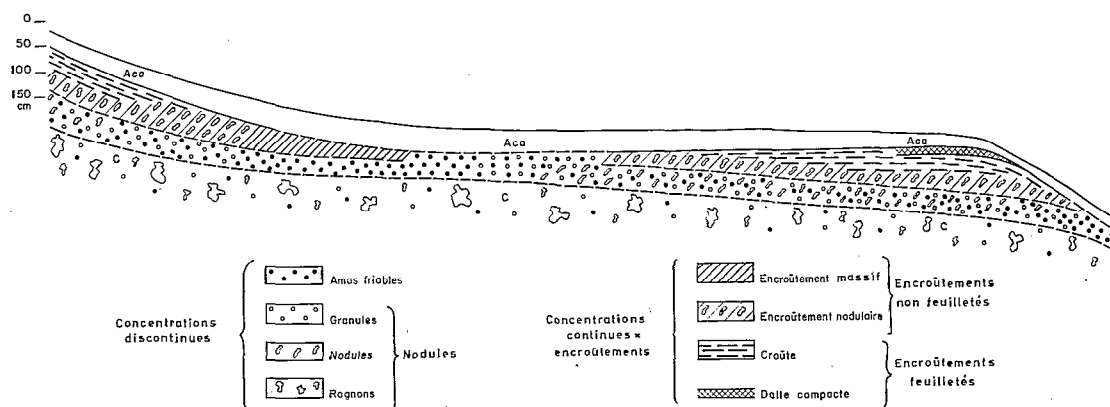


FIG. 7. — Passages latéraux entre les divers types d'horizon Bca dans les sols de la Basse Moulouya.

#### D. Les différents types de profil calcaire.

En fonction de la répartition quantitative et morphologique du calcaire dans les horizons Aca, Bca et C, on peut rassembler les sols des plaines de la Basse Moulouya en un certain nombre de groupes caractérisés chacun par un type de profil calcaire.

1. Il y a tout d'abord les sols qui sont uniformément calcaires, ou non calcaires, dans les trois horizons : il n'y a ni individualisation, ni accumulation. Ces sols ne sont habituellement pas classés comme isohumiques mais plutôt comme sols peu évolués d'apport ou sols rouges méditerranéens. Pour la suite de l'exposé, ils seront dénommés : *sols sans profil calcaire* ou *sols à profil calcaire non différencié* (voir, pour exemple, les fiches de profils n<sup>os</sup> 1 à 5).

2. Certains sols (fig. 6 et 8) dans lesquels il n'y a aucune concentration visible du calcaire, et qui sont calcaires ou non en surface, présentent soit une augmentation progressive du calcaire jusqu'au matériau originel (augmentation qui commence dès la surface si le sol est calcaire ; à partir d'une profondeur variable, quelques dizaines de centimètres au maximum si le sol n'est pas calcaire en surface), soit une zone légèrement plus riche en calcaire que la surface et le matériau originel, horizon d'accumulation du calcaire dont il est impossible d'indiquer les limites précises. Ce sont déjà, dans la terminologie classique, des sols isohumiques ; je les qualifie de *sols à profil calcaire peu différencié* (voir, par exemple, le profil n<sup>o</sup> 1 de la fig. 6, et les fiches de profils n<sup>os</sup> 6 et 7).

3. D'autres sols isohumiques, et ce sont en Basse Moulouya parmi les plus fréquents, présentent un horizon Bca où le calcaire est concentré en amas ou en nodules (ou les deux à la fois). Cette concentration correspond en général aussi à une accumulation : ce sont des *sols à profil calcaire moyennement différencié*. Ce profil peut présenter divers aspects (profils n<sup>os</sup> 2 à 8 de la fig. 6), (fiches de profils n<sup>os</sup> 8 à 20) :

— L'horizon Aca est non ou peu calcaire sur une épaisseur plus ou moins grande (quelques dizaines de centimètres), puis on passe assez brutalement à l'horizon Bca où le calcaire augmente rapidement, sous forme diffuse d'abord, puis presque tout de suite avec apparition d'amas et nodules (les amas se montrent en général avant les nodules). En profondeur les taux de calcaire rediminuent, mais plus ou moins rapidement et l'individualisation peut se poursuivre très profondément dans l'horizon C : cependant, la morphologie ou la densité des amas ou nodules se modifie assez vite ce qui permet toujours de séparer avec une certaine précision les horizons Bca et C. Ce profil est celui de la plupart des sols qui, dans les Triffa, ont été cartographiés comme sols châtaîns isohumiques subtropicaux modaux. Mais c'est aussi celui de certains sols bruns.

— L'horizon Aca est calcaire, et dans ce cas on voit souvent l'augmentation du calcaire commencer dès la surface puis s'accroître quand l'individualisation apparaît, en général vers 20-50 cm de profondeur. Mais on peut aussi avoir une teneur assez constante en calcaire qui va ensuite augmenter rapidement : la limite entre A et Bca est alors nette. Dans certains cas, on peut même constater que tout à fait superficiellement, sur quelques centimètres, la teneur en calcaire va d'abord baisser avant de réaugmenter vers le bas. En profondeur, le passage à l'horizon C se fait dans les mêmes conditions que celles déjà décrites dans le paragraphe précédent : on soulignera seulement que si, en général, la teneur en calcaire de l'horizon C est supérieure à celle de l'horizon Aca, la différence est souvent faible, de quelques pour cent, et il n'est même pas rare d'observer dans le matériau originel des teneurs en calcaire inférieures à celles de l'horizon Aca.

— Dans de nombreux sols, l'accumulation et la concentration du calcaire se font à deux niveaux (profils n<sup>os</sup> 6 et 7 de la fig. 6). Après un horizon Aca, calcaire ou non (s'il est calcaire, les taux sont constants ou ne croissent que lentement) on passe à un premier horizon Bca où la teneur en calcaire augmente plus rapidement et qui contient des formes de concentration discontinue : ce sont en général des amas ou des granules, petits et assez peu nombreux. Puis on aborde rapidement un deuxième niveau de l'horizon Bca dans lequel les amas et nodules sont plus gros et plus nombreux et on y voit la teneur en calcaire augmenter beaucoup plus vite, atteindre un maximum, puis rediminuer. C'est un horizon Bca double.

Dans un certain nombre de ces sols, l'étude de la répartition du calcaire dans les diverses fractions texturales, a été faite. Elle a permis de constater que, mis à part les nodules, l'accumulation du calcaire se faisait surtout dans les fractions limoneuses (2-20 microns) ; assez peu dans la fraction granulométrique inférieure à 2 microns, et très peu dans les sables (fig. 10).

4. Enfin, dans de nombreux sols, il y a présence, au niveau de l'horizon Bca, d'un encroûtement plus ou moins développé : ce sont des *sols à profil calcaire très différencié* ou, plus brièvement, des *sols encroûtés* (profils n<sup>os</sup> 9 à 16 de la fig. 6 ; fig. 9), (fiches de profils n<sup>os</sup> 21 à 30). La position de ces encroûtements par rapport aux horizons Aca et C a déjà été détaillée dans les paragraphes précédents et il importe seulement de souligner encore deux points :

— Très souvent, les encroûtements sont surmontés par une autre accumulation, moins puissante, à distribution diffuse ou à concentration discontinue (profils n<sup>os</sup> 9 à 12 et 14 de la fig. 6). Il n'est même pas rare d'avoir deux encroûtements superposés et trois horizons d'accumulation, l'encroûtement le plus développé étant toujours le plus profond (profil n<sup>o</sup> 15 de la fig. 6, fig. 11 et fiches de profils n<sup>os</sup> 29 et 30). Ce sont des Bca doubles ou triples.

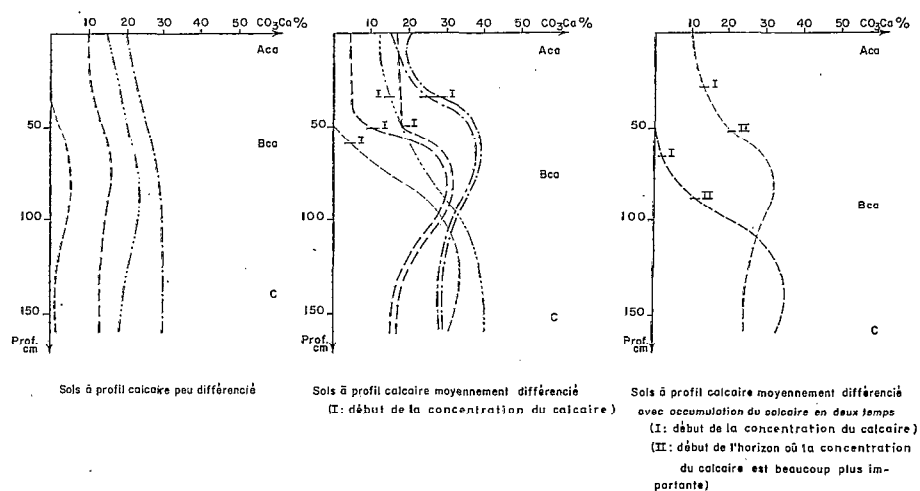


FIG. 8. — Quelques exemples de profils calcaires de sols non encroûtés (voir fiches de profil n<sup>os</sup> 6 à 20).

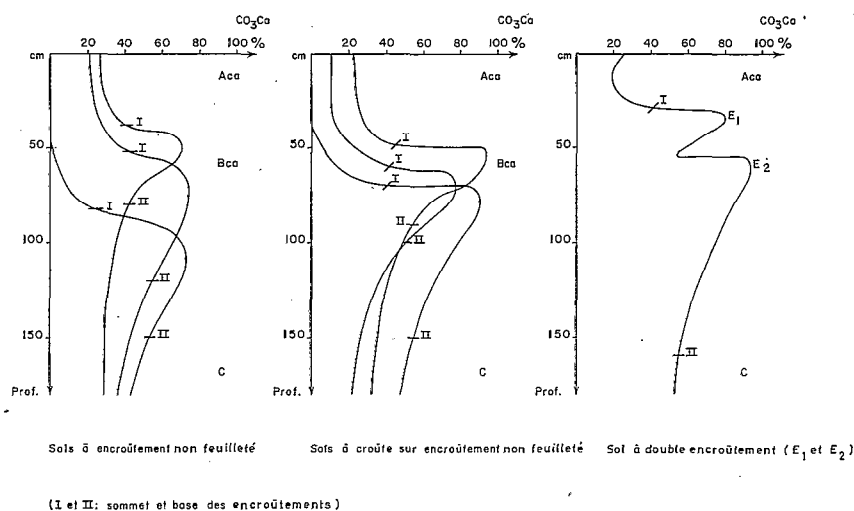
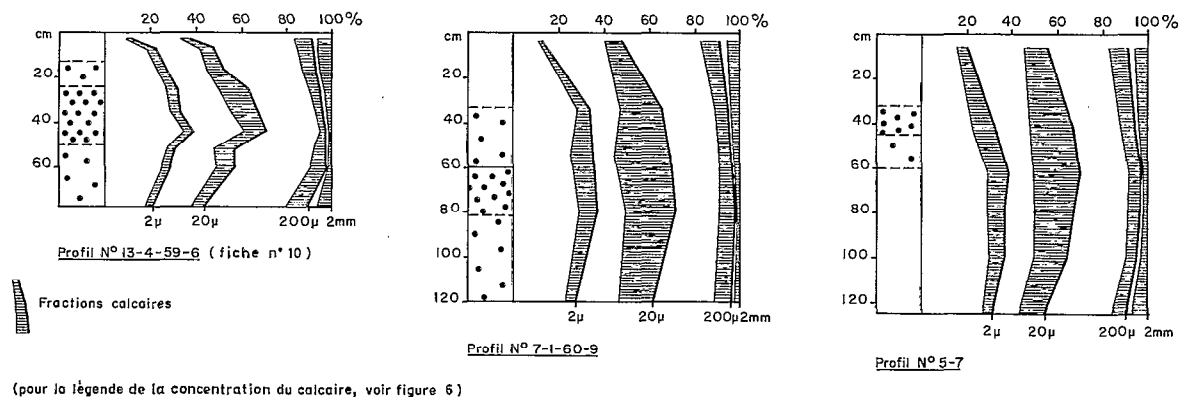


FIG. 9. — Quelques exemples de profils calcaires de sols à profil calcaire très différencié (voir fiches de profil n<sup>os</sup> 21 à 30).

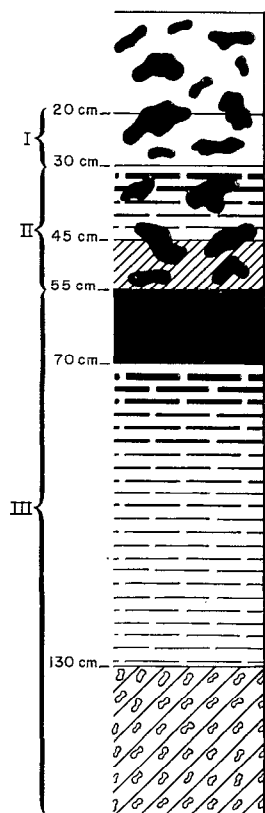


(pour la légende de la concentration du calcaire, voir figure 6)

FIG. 10. — Quelques exemples de la répartition du calcaire dans les fractions granulométriques des sols à profil calcaire moyennement différencié.

— Au-dessus des encroûtements, la teneur en calcaire des horizons supérieurs est très variable : ces horizons peuvent être totalement décarbonatés, ou au contraire être très calcaires ; ils peuvent être uniformément calcaires ou présenter un accroissement progressif de cet élément avec la profondeur.

★ ★



Brun. Structure nuciforme, tendance polyédrique en profondeur. Très caillouteux, gros et petits blocs de dalle et de croûte. Calcaire.

Brun, un peu plus rouge. Structure polyédrique. Très caillouteux. Aras calcaires.

Croûte feuilletée blanche, peu durcie, feuillets épais au sommet, de plus en plus fins en profondeur. Très caillouteux ; gros et petits blocs de dalle.

Encroûtement massif, blanc, tendre. Très caillouteux : gros et petits blocs de dalle.

Dalle compacte rose, très dure, très continue.

Croûte feuilletée, blanc-rose au sommet, plus blanche à la base. Feuillets épais et très durcis au sommet, de plus en plus fins et de plus en plus tendres vers le bas.

Encroûtement nodulaire, blanc au sommet, plus rose en profondeur. Dur au sommet, plus tendre en profondeur. Structure finement feuilletée.

FIG. 11. — Sol encroûté présentant trois accumulations de calcaire superposées



Nous retiendrons en résumé les quelques faits suivants :

- Les profils des sols des plaines de la Basse Moulouya peuvent être :
  - non différenciés : il n'y a pas d'horizon Bca ;
  - peu différenciés : l'horizon Bca est une accumulation à distribution diffuse ;
  - moyennement différenciés : l'horizon Bca contient des amas ou nodules ;
  - très différenciés : l'horizon Bca est en partie sous la forme d'un encroûtement.
- Dans les quatre cas, l'horizon Aca peut être :
  - non calcaire ;
  - calcaire, à teneur constante ou croissante vers le bas (dans les premiers centimètres superficiels, la teneur peut être décroissante).
- Dans les sols à profils moyennement et très différenciés, l'horizon Bca peut être simple, double et même triple, l'accumulation la plus puissante étant alors toujours la plus profonde.
- L'horizon C :
  - est rarement non calcaire ; sa teneur en calcaire n'est pas toujours plus élevée que celle de l'horizon Aca ;
  - contient souvent dans le cas des sols à profils différenciés et très différenciés, des amas, granules, nodules, rognons.
- Les passages latéraux entre les sols moyennement et très différenciés sont courants de même que les transitions verticales et horizontales entre les différents types d'horizons d'individualisation et d'accumulation du calcaire.

## II. LE PROFIL TEXTURAL

Après le profil calcaire, le profil textural est certes, dans les sols de la Basse Moulouya, un des aspects morphologiques les plus visibles et qui avec l'aide du laboratoire, permet de poursuivre la mise en évidence des principaux horizons de ces sols.

Quand on a affaire à des sols développés sur des roches sédimentaires, et plus particulièrement sur des colluvions et alluvions, l'étude des profils texturaux conduit toujours à essayer de distinguer deux ensembles de caractères :

- Ceux que l'on peut attribuer aux matériaux originels.
- Ceux qui résultent de la pédogenèse.

En fait, cette distinction est souvent difficile et l'expérience prouve que, selon les convictions de chacun, les mêmes ensembles de propriétés peuvent être considérés comme caractéristiques des matériaux ou de l'évolution des sols.

Cette distinction est cependant fondamentale pour la compréhension des mécanismes pédogénétiques et c'est dans cette optique que les faits seront ici présentés dans le cadre de deux rubriques :

- La variation verticale des courbes granulométriques et, en particulier, de la quantité et de la distribution des éléments grossiers : sables, graviers, cailloux. Ces faits permettront de discuter l'homogénéité ou l'hétérogénéité des matériaux.

- La variation verticale des éléments fins, et en particulier de la fraction argileuse, qui peut résulter de l'évolution pédologique.

*Quelques problèmes de méthodes d'analyses*

Comme pour l'étude du profil calcaire, les résultats qui vont être présentés ci-dessous découlent de synthèses faites à partir de l'analyse de plusieurs milliers d'échantillons récoltés depuis 1959. Ces analyses ont été réalisées, pour l'essentiel, au Maroc (laboratoires de l'Office de Mise en Valeur à Berkane et du Centre des Expérimentations à Rabat ; méthodes utilisées : densimétrie et pipette de Robinson) mais aussi, d'une façon plus détaillée, au laboratoire de sédimentologie de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy, par M<sup>me</sup> M. DELAUNE (méthodes utilisées : densimétrie et méthode RIVIERE, 1967) et au laboratoire de la station de Recherche Forestière à Rabat par M<sup>lle</sup> A. SAUVAGEOT (méthode utilisée : densimétrie).

Par ailleurs, sur une centaine de profils considérés comme typiques, la granulométrie a été effectuée avant et après décarbonatation des échantillons : dans les horizons calcaires, la granulométrie d'un échantillon non décarbonaté est en effet d'interprétation difficile étant donné que, dans toutes les fractions, la pédogenèse a pu soit dissoudre, partiellement ou totalement, des particules calcaires, soit au contraire donner naissance à des particules entièrement calcaires ou formées d'éléments fins cimentés par du carbonate (pseudo-particules).

L'expérience nous a cependant montré que les résultats que l'on obtient après décarbonatation doivent être interprétés avec prudence :

— La destruction des carbonates en utilisant, pour ne pas endommager certains minéraux fragiles non calcaires, de l'acide dilué ( $\text{HCl } 1/10^6$ ) à froid, peut être très longue : dans certains horizons où les sables contiennent de fortes proportions de nodules calcaires très durs (Bca des sols rouges sur calcaires compacts et des sols châtaîns) la dissolution complète de ces sables peut demander plusieurs dizaines d'heures ; l'attaque se ralentit peu à peu : elle devient très lente et on peut la croire terminée ; souvent la granulométrie a été ainsi faite sur des échantillons incomplètement décarbonatés. La destruction des sables dolomitiques, assez fréquents, surtout dans les sols de la montagne, est encore plus difficile si l'on veut éviter les méthodes énergiques (acide concentré, à chaud).

— L'acide chlorhydrique dilué au  $1/10^6$  est peut-être déjà dangereux vis-à-vis de certains minéraux argileux : les illites et chlorites très altérées et l'attapulgitite peuvent être partiellement détruites par une telle attaque.

— Certains sols, les sols fersiallitiques et les sols châtaîns surtout, contiennent des pseudo-particules comme celles décrites par CHAUVEL et PEDRO (1967) : agrégats complexes à ciment ferrugineux. Ces pseudo-particules sont en partie détruites par l'attaque acide.

— Lorsque l'acide dissout des particules calcaires qui n'avaient été que partiellement modifiées par la pédogenèse (particules sableuses surtout, provenant de l'altération et de l'érosion des calcaires du Secondaire et du Tertiaire), il y a libération de la fraction non calcaire de ces roches, c'est-à-dire surtout d'éléments fins, argileux.

L'interprétation des granulométries après décarbonatation est donc difficile : on ne peut pas, en tous les cas, affirmer qu'elles sont plus exactes, et pour les interpréter valablement il faut d'une part s'assurer que la décarbonatation est totale, d'autre part essayer de connaître et mesurer ce que l'attaque chlorhydrique a modifié ; c'est un travail que j'ai tout juste effleuré, grâce à la collaboration de M<sup>me</sup> M. DELAUNE et de M<sup>lle</sup> A. SAUVAGEOT : il sera indispensable de l'approfondir comme le font actuellement plusieurs chercheurs sur d'autres types de sols (BLOT et PEDRO, 1967 ; CHAUVEL et MONNIER, 1967 ; CHAUVEL et PEDRO, 1967 ; HENIN, 1967).

**A. Variation verticale de la texture globale.**

Quand on effectue la prospection pédologique détaillée des plaines de la Basse Moulouya, l'hétérogénéité de la texture des sols apparaît tout de suite comme assez courante, en particulier dans les zones situées à proximité des chaînes montagneuses. Dans chaque profil, on peut facilement

reconnaître plusieurs horizons, d'une part d'après la richesse en éléments fins, mais surtout d'après la densité des éléments grossiers, en particulier d'après la présence de niveaux caillouteux, de lignes de cailloux que l'on a pris l'habitude d'appeler des « cailloutis ». Cependant, on s'aperçoit aussi très vite que cette hétérogénéité n'est pas seulement verticale : latéralement l'épaisseur et même la présence d'un niveau caractérisé, par exemple, par certains aspects de texture grossière, varient rapidement ; on est donc tout de suite tenté de voir là des roches-mères alluviales et colluviales complexes ; on a même facilement tendance à les multiplier et il devient alors tout à fait important d'analyser comment les limites entre les horizons pédologiques se situent par rapport à celles qui séparent ces matériaux.

### I. Les cailloutis.

Dans les sols de la Basse Moulouya, on trouve donc fréquemment des horizons fortement caillouteux, alternant avec des niveaux pauvres en éléments grossiers.

a) Ces cailloutis sont surtout fréquents dans les zones de piémont (cônes de déjection), dans les vallons et griffes d'érosion qui sillonnent les glacis, dans les sols des terrasses alluviales qui longent les oueds importants.

b) Leur épaisseur et leur nombre dans un profil est très variable : jusqu'à 2 m de profondeur, il peut y en avoir 4 ou 5, ou aucun, et l'épaisseur de chacun varie de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres. Dans les zones citées ci-dessus, on les trouve assez souvent à la surface des sols (surfaces caillouteuses).

c) La morphologie de ces horizons et de leurs éléments constitutifs est également très variée, surtout en fonction des situations géomorphologiques. Ces variations concernent principalement la pétrographie, les formes, les dimensions, la densité, l'organisation des graviers et cailloux ; la nature et la structure des matériaux fins qui les emballent ; l'individualisation du calcaire (amas, granules et nodules dans la matrice fine ; pellicules d'encroûtement et de croûte autour des cailloux ; consolidation de l'ensemble du niveau par un ciment calcaire).

d) D'après leur continuité et leur position dans les sols, il faut, en fait, distinguer trois types principaux de cailloutis :

— Dans les zones de cônes de déjection ou de terrasses alluviales, on peut avoir des cailloutis épais et continus séparant deux horizons dont les faciès sont très différents : on considère en général que ces deux horizons appartiennent à deux périodes successives du Quaternaire.

— Le plus souvent, cependant, l'observation de coupes de grandes dimensions, le long des oueds ou, ce qui est bien meilleur, le long des routes et des canaux d'irrigation en construction, montre, à des profondeurs diverses, la présence de niveaux caillouteux discontinus, lenticulaires et d'épaisseurs variées (fig. 12 et 13) :

certaines de ces cailloutis apparaissent comme étant parfaitement indépendants des limites d'horizons pédologiques ;

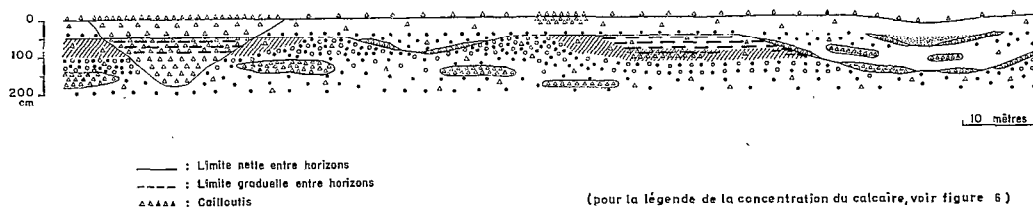


FIG. 12. — Quelques exemples de la position des cailloutis par rapport aux horizons où le calcaire s'accumule et se concentre : coupe transversale d'un glacis du Quaternaire moyen.

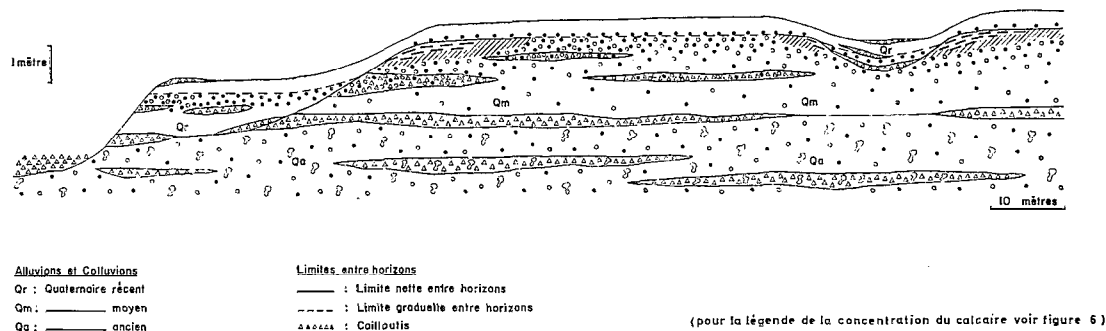


FIG. 13. — Quelques exemples de la position des cailloutis par rapport aux horizons où le calcaire s'accumule et se concentre : coupe perpendiculaire à un oued.

d'autres, au contraire, se placent entre deux horizons pédologiquement différents dont ils vont accentuer une limite qui reste diffuse en leur absence : il s'agit généralement de deux niveaux où la concentration du calcaire est différente.

e) En ce qui concerne ces cailloutis qui séparent deux horizons différents par le type de concentration du calcaire, on doit noter que :

— Les courbes granulométriques, celles des sables en particulier, sont généralement les mêmes dans les deux horizons.

— La concentration et la richesse en calcaire sont souvent plus faibles au-dessus qu'au-dessous du cailloutis.

— Le sommet, et même toute la masse, des croûtes calcaires peuvent être caillouteux, la présence d'un cailloutis semblant même favoriser le développement de la croûte. Par ailleurs, le ravinement localisé des encroûtements par des cailloutis est assez fréquent, surtout dans les zones de piémont et de terrasse. Cependant, il n'y a jamais de cailloutis posés sur les encroûtements calcaires et les séparant, sur de grandes surfaces, des horizons supérieurs ; par ailleurs, on les trouve rarement à la base des encroûtements, séparant ceux-ci des horizons C.

f) Dans les zones de piémont et de terrasses où les matériaux contiennent toujours, en dehors des cailloutis, des éléments caillouteux, il y a très souvent une concentration de cailloux en surface : pellicule de reg qui prend de l'importance quand on se déplace des régions semi-arides de l'Est vers les paysages arides du Zebra.

## 2. La texture globale.

Dans les sols où l'absence de tout cailloutis ou de variations visibles des textures grossières rend difficile la discussion concernant l'homogénéité des matériaux, l'étude de la variation des courbes granulométriques (en particulier des fractions sableuses) du haut en bas des profils met en évidence un certain nombre de faits importants.

Deux ensembles de sols doivent être distingués :

— Ceux où l'horizon Bca est, soit une accumulation diffuse, soit un niveau à amas et granules assez peu développé et correspondant à une accumulation calcaire assez faible ; latéralement, cet horizon Bca ne devient jamais un encroûtement et je montrerai que ces sols sont assez jeunes.

— Ceux où l'horizon Bca est bien développé : il s'agit, soit des sols à forte accumulation avec amas, granules et nodules, pouvant latéralement se transformer en encroûtements, soit de tous les sols encroûtés.

a) Dans les sols appartenant au premier ensemble, les limites entre les horizons Aca, Bca et C sont toujours assez diffuses et d'un horizon à l'autre on ne constate jamais de changements importants dans les distributions texturales. Les fractions sableuses sont en particulier très homogènes du haut en bas des profils, la présence d'un cailloutis pouvant seule venir quelquefois rompre cette monotonie (fig. 14).

b) Dans les sols appartenant au deuxième ensemble, la limite entre les horizons Aca et Bca est souvent plus nette, surtout s'il y a un encroûtement, mais elle reste diffuse entre Bca et C. Deux cas sont possibles :

— Les courbes granulométriques, surtout après décarbonatation, sont identiques du haut en bas des profils. En particulier, l'apparition d'un encroûtement n'est accompagné d'aucun changement. Ce cas est général dans la plaine du Zebra et dans les secteurs ouest des Triffa (Schouyahia et Boughriba) (fig. 15).

— Il y a coïncidence entre la limite supérieure de la forte accumulation du calcaire et une modification importante des courbes granulométriques des échantillons non décarbonatés. Ce cas est fréquent dans la cuvette des Triffa, depuis le Cheraa jusqu'au Kiss, surtout dans les sols à Aca non ou peu calcaire ; c'est également le cas des sols rouges fersiallitiques sur calcaires et dolomies compactes en zones montagneuses. C'est cependant aussi dans ces sols que les résultats de la décarbonatation doivent être interprétés avec beaucoup de prudence. En effet :

dans les horizons Bca, les petits nodules ayant la taille des sables, sont nombreux et durs : c'est à eux que l'on doit l'essentiel des différences texturales entre Aca et Bca-C et leur dissolution par l'acide chlorhydrique dilué est longue ;

dans les horizons Bca et C, une partie des sables sont du calcaire et de la dolomie provenant de l'érosion des roches-mères secondaires et tertiaires ; par contre, probablement du fait de la pédogenèse, ils sont partiellement ou totalement absents des horizons Aca peu ou non calcaires : on peut penser qu'ils ont été dissous ; ceci explique en partie les différences texturales entre Aca et Bca-C, et leur dissolution par l'acide chlorhydrique fausse un peu les teneurs en éléments fins ;

les minéraux argileux sont altérés : une attaque acide trop violente peut en détruire une partie ; on peut alors, à titre comparatif, faire également le traitement sur les horizons Aca non calcaires : cependant, d'une part les argiles y sont nettement plus altérées, d'autre part l'attapulгите,

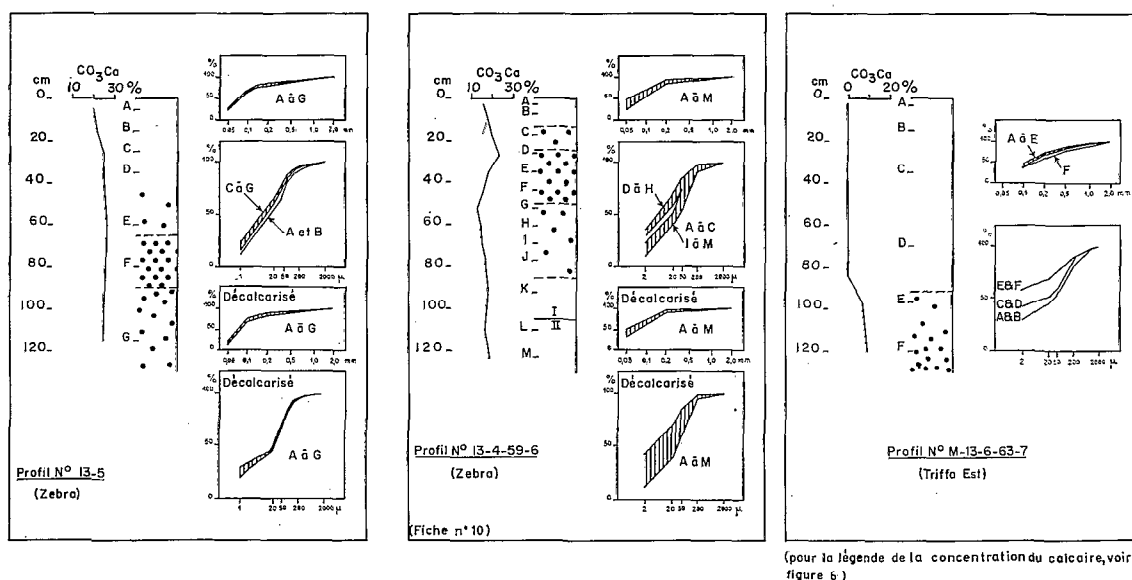


FIG. 14. — Variation verticale des courbes granulométriques dans des sols à profil calcaire assez peu différencié

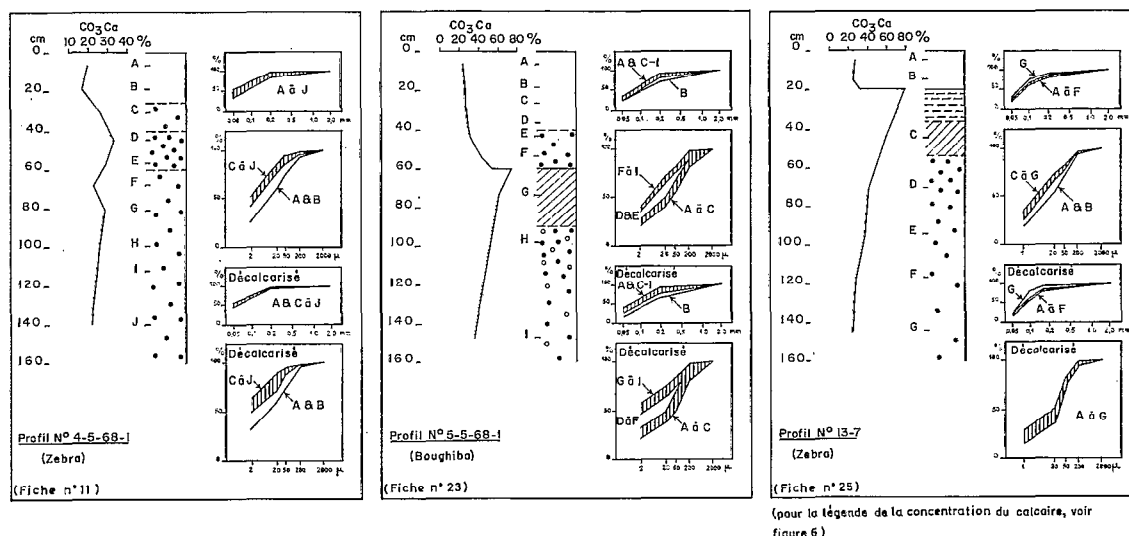


FIG. 15. — Variation verticale des courbes granulométriques dans des sols à profil calcaire moyennement ou très différencié : sols à Aca calcaire et à Bca et C pauvres en nodules.

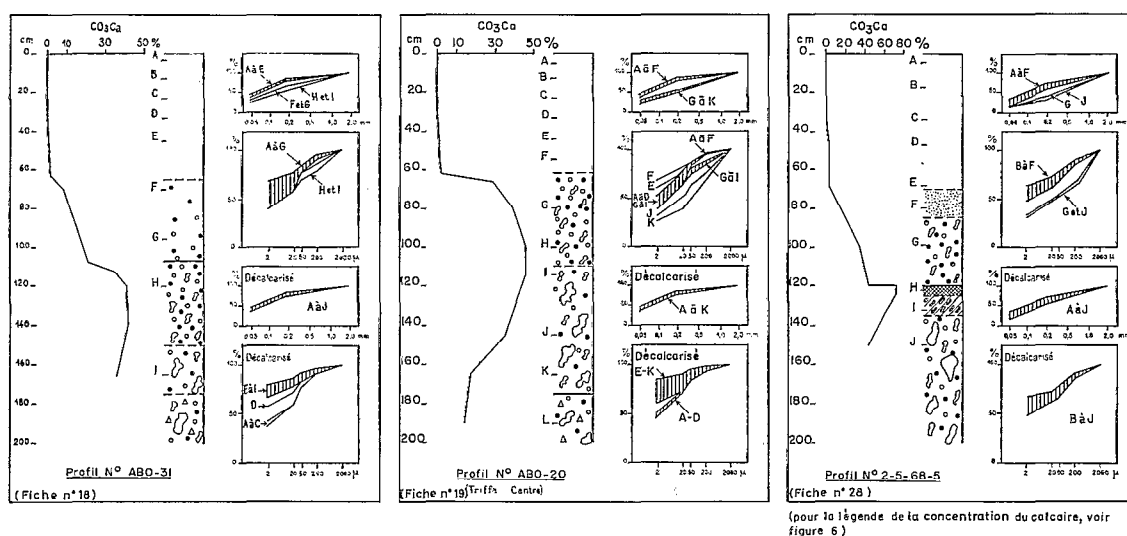


FIG. 16. — Variation verticale des courbes granulométriques dans des sols à profil calcaire moyennement ou très différencié : sols à Aca non calcaire et à Bca et C riches en nodules très durs.

quand elle existe, n'est présente que dans les horizons Bca ; or cette argile est facilement détruite par une attaque acide ;

les pseudo-particules à ciment ferrugineux sont assez abondantes, surtout dans les horizons Aca et nous avons vu que toute attaque acide les détruisait en partie.

On constate cependant que, dans ces sols, une décarbonatation totale mais réalisée par des traitements modérés, de longue durée<sup>1</sup>, permet d'obtenir dans les horizons Bca et C des courbes granulométriques à peu près identiques à celles des horizons Aca (fig. 16) ; les différences impor-

1. On peut, pour aller plus vite, procéder au traitement en deux temps ; on effectue d'abord un traitement modéré sur la totalité de l'échantillon : le calcaire des fractions fines est détruit ; on sépare ensuite les sables sur lesquels on procède à un traitement plus violent.

tantes que l'on peut constater entre les textures des horizons Aca et Bca-C non décarbonatés semblent donc essentiellement résulter de la pédogenèse du calcaire : dissolution des sables calcaires et dolomitiques dans les horizons Aca et nodulation du calcaire dans les horizons Bca et C.

### 3. Conclusions.

De cette étude de la variation verticale de la texture globale des sols de la Basse Moulouya, il faut essentiellement retenir les constatations suivantes :

— Les matériaux, alluviaux et colluviaux, sont variés : il y a hétérogénéité horizontale mais aussi souvent verticale.

— Ces matériaux, en se superposant ou en s'emboîtant, ont pu tronquer et enterrer des sols. Cette étude granulométrique ne permet cependant pas de discuter l'importance de ces phénomènes.

— La disposition des cailloutis et, bien que cela ne soit pas un argument décisif, l'homogénéité verticale des courbes granulométriques, sont en faveur de l'origine pédogénétique des horizons Aca et Bca : il s'agit bien, semble-t-il, d'horizons pédologiques et non de couches sédimentaires superposées.

## B. Variation verticale de la fraction texturale argileuse.

Le profil textural argileux (non calcaire) des sols se présente sous des aspects variés. Il ne s'agit cependant pas d'une distribution quelconque : comme pour le profil calcaire, on peut délimiter, sur la base de critères assez précis, un certain nombre de catégories, et toutes ces catégories ont en commun un certain nombre de caractères.

### 1. Caractères généraux des profils texturaux argileux.

Les caractères généraux des profils texturaux argileux sont les suivants :

a Dès le sommet du profil, la teneur en argile augmente du haut vers le bas.

b A une profondeur variable selon les sols (le plus souvent entre 40 et 80 cm), une teneur maximum est généralement atteinte.

c Cette teneur maximum ne se maintient que sur quelques centimètres d'épaisseur : en descendant il y a presque tout de suite rediminution vers une teneur plus ou moins stable que l'on peut considérer comme étant celle du matériau originel. Si ce matériau est simple, cette stabilité est atteinte, selon les cas, entre 100 et 200 cm et correspond à une teneur en argile qui est généralement nettement plus élevée que celle de la surface du sol.

d Ces variations de teneurs en argile sont toujours très progressives : sur le terrain, l'enrichissement en argile vers la profondeur se décèle assez facilement mais on ne peut pas situer avec quelque précision le sommet et la base d'un horizon B textural, d'un horizon « argillic » (U.S.D.A., 1960, 1967).

e Même dans les horizons les plus riches en argile, des revêtements argileux, sur les faces des agrégats ou les parois des pores, sont rarement visibles, à la loupe, sur le terrain.

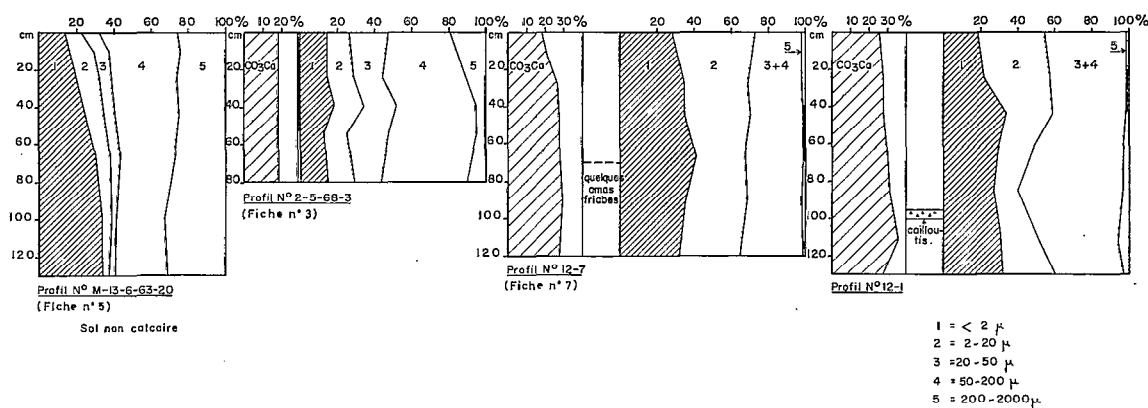


FIG. 17. — Profils texturaux (particules non calcaires) de sols à profil calcaire non ou peu différencié.

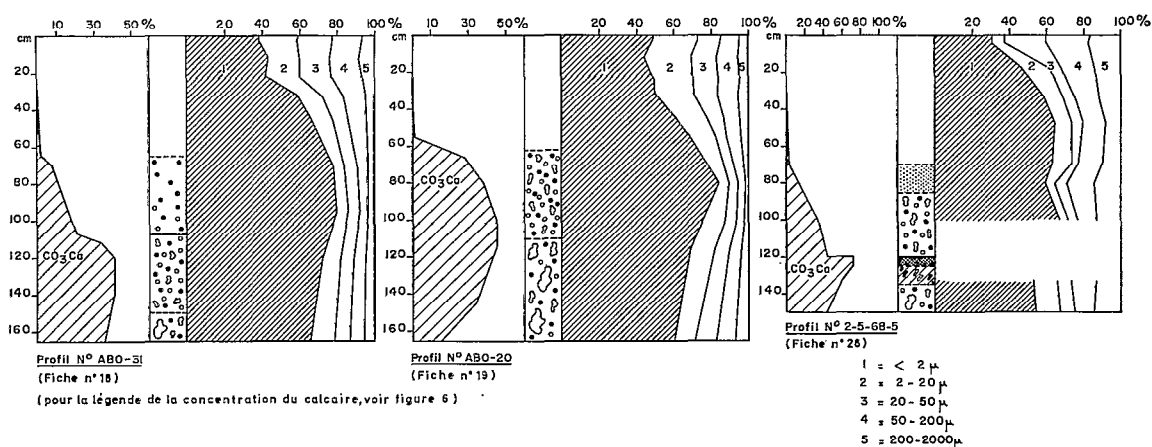


FIG. 18. — Profils texturaux (particules non calcaires) de sols à profil calcaire moyennement ou très différencié, et à Aca non calcaire.

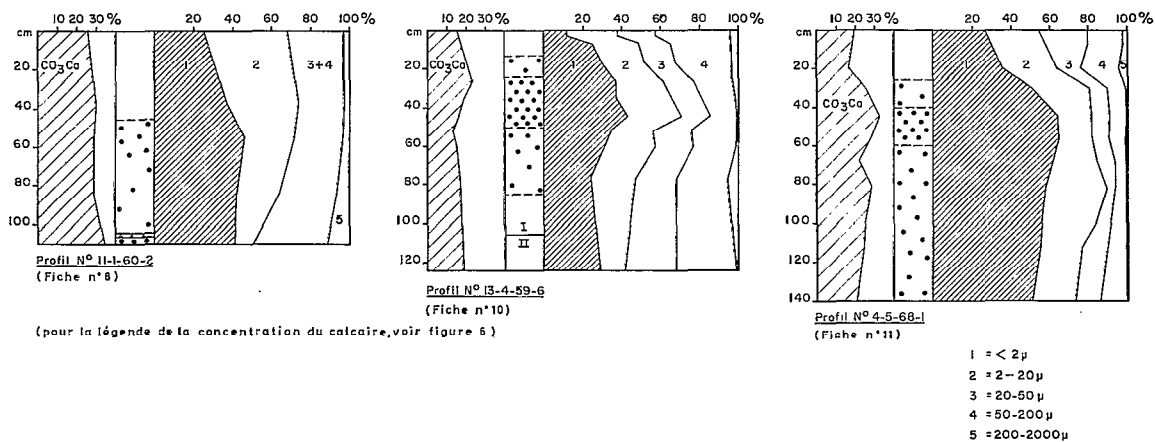


FIG. 19. — Profils texturaux (particules non calcaires) de sols à profil calcaire moyennement différencié, calcaires dès la surface.



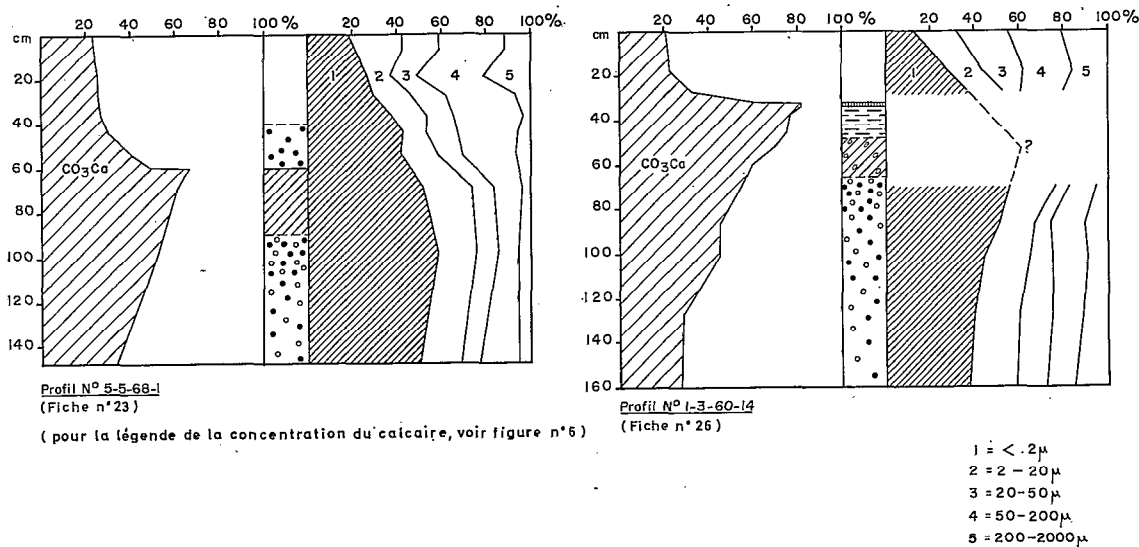


FIG. 20. — Profils texturaux (particules non calcaires) de sols à profil calcaire très différencié, calcaires dès la surface.

## 2. Les principaux types de profils texturaux argileux.

Les profils texturaux ne sont pas indifférents à la répartition du calcaire et c'est en fonction des profils calcaires, définis précédemment, qu'il apparaît logique de les analyser.

### a Les sols à profil calcaire non ou peu différencié.

Dans les sols à profil calcaire non ou peu différencié, quatre types de profils sont possibles :

— La teneur en argile est la même du haut en bas du profil, sur plus de 100 cm d'épaisseur : ce type de profil est exceptionnel.

— Le sol est développé au sein d'un matériau à texture très irrégulière : la teneur en argile est elle-même irrégulière. Ce cas est également rare.

— La teneur en argile croît régulièrement puis se stabilise, plus ou moins bien, à quelques dizaines de centimètres de profondeur : ces sols paraissent donc avoir déjà un horizon A textural. Ce cas est fréquent dans les sols non calcaires des Triffa (fig. 17) et dans les sols situés au fond des vallons.

— Le profil présente un ventre d'argile qui reste en général peu développé, le maximum pouvant se situer entre 30 et 80 cm de profondeur. Dans les sols à profil calcaire non différencié, la teneur en argile en surface peut être identique à celle des horizons profonds ; par contre, dans les sols à profil calcaire peu différencié, elle est plus faible. Ces sols présentent donc une différenciation faisant apparaître deux horizons texturaux : At et Bt.

### b Les sols à profil calcaire moyennement différencié.

Les sols à profil calcaire moyennement différencié présentent toujours un profil textural bien différencié répondant aux caractères généraux définis ci-dessus.

Cependant, on constate que, selon certaines modalités du profil calcaire, ce profil textural se modifie d'une façon importante surtout en ce qui concerne la morphologie et la position de l'horizon où se situe le maximum argileux.

En fait, la plupart des sols se regroupent dans deux catégories extrêmes entre lesquelles de nombreuses transitions sont possibles, bien qu'assez rares :

— Les sols à horizons Aca non ou peu calcaires sur une épaisseur de quelques dizaines de centimètres : il s'agit surtout des sols châtaîns.

— Les sols fortement calcaires dès la surface : ce sont la plupart des sols bruns du Zebra et des secteurs ouest des Triffa.

1. - Les sols de la première catégorie (fig. 18) sont argileux dès la surface (30 à 40% d'éléments inférieurs à 2 microns) et le maximum d'argile est de l'ordre de 60 à 80% (il peut y avoir jusqu'à 90% d'éléments inférieurs à 20  $\mu$ ). Ce maximum se situe soit juste au-dessus de l'horizon Bca (donc à la base de l'horizon Aca) soit, plus souvent, dans les 10 à 15 premiers centimètres de l'accumulation de calcaire. Cet enrichissement en argile est généralement accompagné du développement, à l'état sec, d'une belle structure prismatique qui se résout en éléments polyédriques fins (§ IV du présent chapitre), et ces agrégats présentent toujours des surfaces très brillantes et très lisses qui peuvent faire croire à l'existence de revêtements argileux. En fait :

— Sur le terrain, l'observation à la loupe ne permet pas souvent de déceler une épaisseur à ce lissage ou des revêtements dans les pores.

— Grâce à la collaboration de J. BOULAIN et N. FEDOROFF (Laboratoire de micromorphologie de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Grignon), des études de micromorphologie viennent d'être commencées. Les quelques premiers résultats dont nous disposons déjà confirment la rareté des véritables revêtements argileux sur les faces des agrégats et dans les pores. Par contre, dès la surface, on constate la présence abondante de fines et courtes zones d'argile orientée autour des grains de sable (pellicules) et dans la masse du plasma : ce sont des « cutans » (BREWER, 1964), c'est-à-dire d'une part, autour des grains de sable, des « embedded grain cutans » (séparations ou concentrations plasmiques ?), d'autre part, dans la masse du plasma, des séparations plasmiques. En profondeur, la densité de ces « cutans » augmente nettement avec la teneur en argile puis elle diminue quand le calcaire apparaît : les « cutans » deviennent rares dans les niveaux fortement calcaires des horizons Bca.

L'argile de ces sols n'est donc pas immobile ; mais cette mobilité signifie-t-elle qu'il y a illuviation ? cette illuviation, si elle existe, est-elle lente ou le « dynamisme du profil » (FEDOROFF, 1968) est-il trop accentué pour que de vrais revêtements argileux puissent se développer : cette discussion sera abordée dans la troisième partie de ce travail. Mais on doit dès maintenant souligner que l'essentiel de l'horizon Aca de ces sols est un B textural qui se poursuit en partie dans l'horizon Bca, et que l'on peut difficilement distinguer, au sommet, d'un A textural : c'est en définitive la structure qui permettra cette distinction.

En résumé, on peut, plus ou moins aisément, distinguer dans ces sols les horizons suivants :

— Aca dont la limite inférieure est relativement nette ; il se subdivise en deux niveaux texturaux difficilement séparables : At et Bt.

— Bca, dont la limite inférieure est diffuse ; il se subdivise en deux niveaux texturaux difficilement séparables : Bt et Ct.

— C : matériau originel.

2. - Les sols de la deuxième catégorie, fortement calcaires dès la surface, sont dans l'ensemble nettement moins riches en argile que les précédents mais ils s'en distinguent surtout, d'une part, par la position du maximum d'argile à un niveau inférieur au maximum calcaire, d'autre part, par la rareté, sinon l'absence, des « cutans » même dans les horizons où une fine structure polyédrique à facettes brillantes et lissées est parfaitement développée. La séparation entre A et B texturaux reste donc aussi difficile que dans le cas précédent. On admettra pour l'instant, d'après les courbes de répartition du calcaire et de l'argile (fig. 19) que le sommet des horizons Bca et Bt se confondent mais que, par contre, la base du Bt est plus profonde que celle du Bca.

*c Les sols à profil calcaire très différencié.*

Dans les sols encroûtés, on peut également distinguer deux catégories :

— Ceux qui sont non ou peu calcaires dans les horizons supérieurs : le maximum argileux se situe au-dessus de l'encroûtement.

— Ceux qui sont calcaires dès la surface : le maximum argileux se situe sous le sommet de l'encroûtement, le plus souvent, semble-t-il, dans ou sous l'horizon non feuilleté (fig. 18 et 20). (Les méthodes de routine utilisées pour effectuer les granulométries sur échantillons décarbonatés ne permettent pas d'être très précis quand les échantillons sont très calcaires).

### C. Conclusions.

De cette étude des profils texturaux, il est essentiel de retenir, en résumé, les quelques faits suivants :

— L'analyse granulométrique de ces sols est compliquée par la présence du calcaire sous des formes diverses, de ciments ferrugineux, de minéraux argileux altérés.

— Les matériaux sont variés et les sols apparaissent souvent complexes : matériaux originels complexes ou sols remaniés ? Le problème devra être discuté en troisième partie. Cette complexité est fréquemment soulignée par la présence de cailloutis.

— Presque tous les sols possèdent un horizon B textural, caractérisé par un ventre d'argile, mais dont les limites sont toujours très diffuses et dans lequel les vrais revêtements argileux sont rares ou absents.

— Au-dessus de ce Bt, les horizons de surface sont plus pauvres en argile que les horizons C.

— Le Bt permet de détailler et de mieux caractériser les catégories que l'étude des profils calcaires a déjà permis de distinguer :

dans les sols peu différenciés, le Bt est absent ou peu développé ;

dans les sols moyennement différenciés et très différenciés, si les horizons superficiels sont peu ou non calcaires, le Bt se situe surtout au-dessus et dans la partie supérieure du Bca (le maximum d'argile apparaît avant le maximum calcaire) et des « cutans » sont fréquents dans le plasma et autour des grains de sable, dès la surface du sol ; si les horizons superficiels sont calcaires, le Bt se situe surtout au niveau et plus bas que le Bca (le maximum d'argile apparaît après le maximum calcaire) et les « cutans » sont rares ou absents.

## III. LES COULEURS

L'étude de la couleur permet de nouvelles distinctions typologiques.

Les données caractéristiques sont les suivantes :

1. Les tons les plus fréquents sont le rouge et le brun-rouge : 2,5 et 5 YR. (MUNSELL, 1954).

2. D'une façon générale, la couleur rouge des horizons A et Bt est d'autant plus accentuée que le sol est moins calcaire et plus argileux.

3. En surface quel que soit le profil calcaire, la valeur et le chroma peuvent s'établir selon les zones où l'on se trouve (nous verrons qu'il s'agit surtout d'une zonalité climatique) entre 3/3 et 5/6 (échantillons humidifiés).

4. En profondeur, il y a toujours un éclaircissement, qui s'accroît quand le calcaire augmente. Dans les sols où l'horizon Bca prend de l'importance, l'éclaircissement est maximum à ce niveau. Dans l'horizon C, valeur et chroma (entre les inclusions calcaires) s'établissent toujours vers 4-5/6.

5. La plupart des sols à profils calcaire et argileux différenciés sont plus rouges en profondeur qu'en surface et assez souvent un maximum de rubéfaction est atteint au niveau des horizons B. Il ne faut cependant pas exagérer l'importance de ces variations qui sont amplifiées, au moment de l'observation des profils, par les différences d'humidité ; les mesures précises font ressortir que les différences sont en fait souvent faibles.

6. On peut, en résumé, distinguer les types de profils de couleur suivants :

— Profils dominés par la couleur rouge 2,5 YR : ce sont généralement des sols non ou peu calcaires dans les horizons supérieurs, c'est-à-dire surtout les sols châtaîns. Deux cas sont à distinguer :

profils présentant un horizon supérieur sombre : valeur et chroma du sol humide sont inférieurs à 3,5/3,5 dans les 20 premiers centimètres ; ce sont les couleurs du « mollic epipedon » (U.S.D.A., 1967) ;

profils présentant un horizon supérieur clair.

— Profils dominés par la couleur brun-rouge 5 YR : ce sont des sols calcaires dès la surface ; on peut y distinguer trois cas :

profils présentant un horizon supérieur sombre ;

profils présentant un horizon supérieur clair ;

profils présentant un horizon supérieur très clair : valeur et chroma du sol humide sont supérieurs à 4/4.

## IV. LE PROFIL STRUCTURAL

Après le calcaire, la texture et la couleur, la structure permet de préciser l'organisation des divers types de sols déjà distingués et les limites entre certains horizons.

### A. La structure des sols à profil calcaire moyennement différencié.

En détaillant la structure des sols à profil calcaire moyennement différencié, l'essentiel, concernant tous les sols, peut être décrit.

Comme pour le profil textural argileux, deux catégories extrêmes doivent être distinguées :

— Les sols à horizon Aca non ou peu calcaire sur une épaisseur de quelques dizaines de centimètres.

— Les sols fortement calcaires dès la surface.

### 1. Les sols non calcaires en surface.

La plupart sont des sols châtains, argileux dès la surface.

Quatre horizons structuraux peuvent être distingués (les structures décrites sont celles de sols cultivés ou pâturés intensivement, mais non irrigués) :

*a* En surface, sur les 20 à 30 premiers centimètres, la structure, quand le sol n'est pas trop sec, est polyédrique à nuciforme assez grossière (30 à 60 mm), la sous-structure, d'autant plus visible que le sol est plus humide, étant grumeleuse (parfois même grenue dans les sols dont les horizons supérieurs sont sombres). A l'état sec, trois cas sont possibles :

— La structure s'élargit et devient plus anguleuse ; les éléments structuraux deviennent durs et compacts ; il n'y a presque plus de sous-structure grumeleuse visible. Une structure lamellaire peut se développer tout à fait superficiellement.

— La structure reste polyédrique à nuciforme avec une sous-structure grumeleuse à tendance grenue bien développée. Il n'y a pas de structure lamellaire en surface. Ce cas est celui des horizons à couleur sombre ( $< 3,5/3,5$ ).

— La structure reste polyédrique à nuciforme mais la sous-structure fine est moins bien développée, et la structure lamellaire de surface prend de l'importance : pellicule de « glaçage » pouvant dépasser 1 cm d'épaisseur. Ce cas est celui d'horizons où le calcaire n'est plus totalement absent, et dont la couleur est claire.

*b* Le deuxième horizon, dans lequel le calcaire reste absent, a 20-50 cm d'épaisseur.

— A l'état humide, sa structure est plus fine et plus anguleuse que celle de l'horizon précédent : c'est une structure polyédrique fine, très anguleuse, à facettes très lissées ; assez souvent, les agrégats sont un peu aplatis prenant l'aspect de petites écailles.

— A l'état sec, cet horizon est caractérisé par le développement d'une belle structure prismatique considérée comme typique des sols châtains : prismes à arêtes vives, ayant une dizaine de centimètres de hauteur et quelques centimètres d'épaisseur, se découpant souvent horizontalement en éléments plus petits.

— Cette structure n'est vraiment typique que dans les sols fortement argileux (plus de 50% d'éléments inférieurs à 2 microns) et non calcaires. En l'absence de l'une de ces deux conditions, la structure prismatique n'existe pas et la structure polyédrique est à la fois moins fine, moins anguleuse et moins luisante.

— Le passage entre cet horizon et le précédent qui le surmonte est progressif, mais il est en général suffisamment rapide pour que l'on puisse placer une limite avec une certaine précision : c'est cette limite structurale que l'on peut adopter pour distinguer les horizons texturaux At et Bt que l'analyse seule du profil argileux ne permet pas de séparer.

*c* Le troisième horizon est celui de l'accumulation du calcaire : c'est le Bca. Sa structure est polyédrique moyenne à fine, les agrégats étant d'autant plus soudés entre eux que le milieu est plus calcaire. La surface des agrégats est souvent lissée, mais nettement moins brillante que dans l'horizon précédent. A l'état sec, la structure prismatique de l'horizon Bt peut se poursuivre au sommet de l'horizon Bca sur quelques centimètres d'épaisseur.

*d* Enfin, on a l'horizon C dans lequel la structure polyédrique reste apparente jusqu'à plusieurs mètres de profondeur. Elle est souvent plus fine que celle de l'horizon Bca, surtout si l'accumulation du calcaire est forte ; mais en fait il est généralement difficile de différencier la forme des agrégats constituant ces deux horizons.

## 2. Les sols calcaires dès la surface.

Le profil structural est le suivant :

*a* Comme dans les sols non calcaires, la structure des 10 à 20 premiers centimètres varie en même temps que la couleur et la teneur en calcaire, même plus nettement encore :

— Dans les horizons sombres, la structure est bien développée, polyédrique à nuciforme assez large (éléments de 3-5 cm) avec une sous-structure grumeleuse à grenue assez nette. En surface, la structure lamellaire est très réduite.

— Dans les horizons clairs, la structure polyédrique à nuciforme est moins bien développée ; la sous-structure grenue est absente et la sous-structure grumeleuse est d'autant plus mal développée que l'horizon est plus clair et plus calcaire. En surface, un horizon à structure lamellaire de quelques millimètres d'épaisseur se développe d'autant mieux que l'horizon est plus clair et plus calcaire.

— Dans les horizons très clairs, la structure polyédrique à nuciforme et la sous-structure grumeleuse sont mal développées ; la cohésion des agrégats est faible. En surface, l'horizon à structure lamellaire peut atteindre 1 à 2 cm d'épaisseur : c'est un « glaçage » très accentué.

*b* Plus profondément, la structure devient progressivement plus fine et plus anguleuse. Quand on atteint l'horizon Bca elle est polyédrique moyenne à fine, et bien développée dans tous les types de sols. Souvent, cette structure polyédrique est déjà bien formée nettement au-dessus de l'apparition de l'individualisation du calcaire : on peut considérer qu'elle indique alors que l'on a déjà atteint l'horizon B ; Bca et Bt dont la structure permet donc de mieux tracer la limite supérieure.

*c* Dans l'horizon Bca, cette structure se maintient, et même se développe si, parallèlement, la teneur en argile devient importante. Souvent c'est alors une structure polyédro-cubique qui se différencie, structure moyenne à fine, dont les agrégats bien individualisés, présentent des facettes lissées, assez brillantes, souvent distordues, concaves ou convexes (RUELLAN, 1959, 1960). Ces éléments sont d'autant mieux soudés entre eux que le niveau est plus calcaire.

*d* C'est enfin le passage à l'horizon C où la structure est, selon les profils, variable entre deux extrêmes : massive ou finement polyédrique. Dans le premier cas, la structure permet de préciser où se situe la transition entre les deux horizons. Dans le deuxième cas, par contre, les variations structurales entre B et C peuvent être très discrètes, difficiles à saisir.

## B. Quelques données complémentaires.

1. *Dans les sols à profil calcaire peu différencié*, la structure des horizons superficiels n'est pas différente de celle des sols précédents. On passe ensuite, dans les ébauches d'horizons B, à des structures polyédriques moyennes assez mal développées, puis à des structures massives, continues (horizon C).

2. *Dans les sols à profil calcaire très différencié*, les horizons supérieurs et inférieurs ont des structures identiques à celles décrites ci-dessus ; quant aux horizons Bca, ce sont les encroûtements dont les structures ont déjà été décrites (§ I de ce chapitre).

3. *L'activité biologique* de ces sols est peu connue. Si on en juge par le développement des éléments coprogènes, elle est cependant loin d'être négligeable, dans tous les types de sols et souvent très profondément jusqu'aux horizons C. Cette activité paraît plus importante dans les zones semi-arides que dans les secteurs arides.

4. *La porosité* de ces sols est toujours bonne. En particulier, la porosité fine, d'origine radiculaire, est importante jusqu'à plusieurs mètres de profondeur ; les matériaux sont abondamment

« piqués » de canalicules très fins. La porosité grossière, bien développée dans les horizons supérieurs, est par contre assez faible en profondeur, à la base des horizons B et dans les horizons C.

5. *La stabilité structurale* de ces sols est toujours faible. Pour les besoins de la mise en valeur, des centaines de mesures de l'indice d'instabilité structurale  $I_s$  et du coefficient de perméabilité  $K$  (HENIN, 1960) ont été effectuées (MASSONI et RUELLAN, 1964 ; RUELLAN, 1963 et 1964 b, c, d). On en retiendra ici que les  $I_s$  sont presque toujours supérieurs à 2 et qu'il n'est pas rare de les voir dépasser 10 ; souvent c'est en surface que la stabilité est la plus faible, l'accumulation du calcaire s'accompagnant d'une certaine amélioration ; sauf cependant quand l'alcalisation se développe dans les horizons Bca et C : c'est un phénomène fréquent dans la plaine du Zebra (voir § III du chap. 3).

## V. CONCLUSIONS : LES PRINCIPAUX TYPES DE DIFFÉRENCIATIONS PÉDOLOGIQUES

Après cette analyse des profils calcaires, texturaux, des couleurs, et structuraux, au cours de laquelle un certain nombre de types de sols, de types de différenciations pédologiques, ont été progressivement dégagés et définis, il est maintenant nécessaire de faire le point, d'effectuer un premier classement de ces catégories auxquelles je me référerai dans la suite de l'exposé (dans le tableau X, les profils donnés en exemple dans les fiches n° 1 à 30 sont redéfinis en fonction de ce classement).

C'est d'abord en fonction du profil calcaire que l'on doit distinguer trois grands ensembles de sols (tabl. IX) :

- ceux à profil calcaire peu différencié ;
- ceux à profil calcaire moyennement différencié ;
- ceux à profil calcaire très différencié.

### A. Les sols à profil calcaire moyennement différencié.

Ce sont des sols dont l'horizon Bca est à amas friables ou à nodules.

#### 1. D'après la morphologie de l'horizon Bca, on distingue :

- des sols à amas friables ;
- des sols à amas friables et nodules ;
- des sols à Bca simple ;
- des sols à Bca double ou triple.

#### 2. En fonction de la teneur en calcaire de l'horizon Aca, on peut séparer :

- des sols non ou peu calcaires sur quelques dizaines de centimètres d'épaisseur ;
- des sols calcaires dès la surface.

3. Les sols à horizon Aca non ou peu calcaire sont, sur presque tout le profil, argileux et rouges (2,5 YR). L'horizon Bt, à structure souvent prismatique et contenant des « cutans » (ce sont surtout des séparations plasmiques), occupe la moitié inférieure de l'horizon Aca et se poursuit dans la partie supérieure du Bca. En fonction de la couleur et de la structure de l'horizon At, on peut distinguer :

- des sols à At sombre : valeur et chroma du sol humide sont inférieurs à 3,5/3,5 ; structure (polyédrique à nuciforme) et sous-structure (grumeleuse à grenue) sont bien développées.
- des sols à At clair : valeur et chroma du sol humide sont compris entre 3,5/3,5 et 4/4 ; structure (polyédrique à nuciforme) et sous-structure (grumeleuse) sont moins bien développées

et si l'horizon At est non calcaire, il est, à sec, plus polyédrique avec des éléments grossiers très compacts.

4. Les sols calcaires dès la surface sont de textures variées et les couleurs oscillent entre 2,5 et 5 YR. L'horizon Bt, à structure polyédrique moyenne à fine et sans « cutans », se situe au niveau et au-dessous du Bca. En fonction de la couleur et de la structure de l'horizon At, on peut distinguer :

- des sols à At sombre : valeur et chroma du sol humide sont inférieurs à 3,5/3,5 ; structure (polyédrique à nuciforme) et sous-structure (grumeleuse à grenue) sont assez bien développées ;
- des sols à At clair : valeur et chroma du sol humide sont compris entre 3,5/3,5 et 4/4 ; les structures sont moins bien développées et une pellicule lamellaire apparaît en surface ; la sous-structure grenue est rare ;
- des sols à At très clair : valeur et chroma du sol humide sont supérieurs à 4/4 ; les structures sont mal développées et la cohésion des agrégats est faible ; la pellicule lamellaire de surface est épaisse (jusqu'à 1-2 cm).

5. Dans tous ces sols, les matériaux peuvent être simples ou complexes, avec ou sans cailloutis et les horizons C ont ou n'ont pas des amas friables, granules, nodules ou rognons.

#### B. Les sols à profil calcaire peu différencié.

Ce sont des sols dont l'horizon Bca est une accumulation diffuse.

1. En fonction de la teneur en calcaire de l'horizon Aca on y distingue les deux types déjà cités pour les sols à profil calcaire moyennement différencié.

2. D'après le profil textural argileux, on a :

- des sols à profil argileux non différencié ou irrégulier ;
- des sols à profil At-C : les taux d'argile augmentent régulièrement avec la profondeur ;
- des sols à profil At-Bt-C ; l'horizon Bt est peu différencié ; sa position par rapport au Bca et sa structure varient, comme pour les sols à profil calcaire moyennement différencié, en fonction de sa teneur en calcaire.

3. La couleur et la structure de l'horizon Aca permettent de séparer les mêmes types que ceux cités pour les sols à profil calcaire moyennement différencié.

4. Les matériaux peuvent être simples ou complexes, avec ou sans cailloutis, les horizons C étant toujours sans concentration visible du calcaire.

#### C. Les sols à profil calcaire très différencié.

Ce sont des sols dont l'horizon Bca est un encroûtement. Avec ou sans pellicule rubanée, il peut s'agir :

- de sols à encroûtement non feuilleté, massif ou nodulaire ;
- de sols à encroûtement feuilleté (croûte seule ou croûte sur encroûtement non feuilleté) ;
- de sols à dalle compacte (dalle sur croûte sur encroûtement non feuilleté).

Les distinctions que l'on peut faire sont les mêmes que celles établies pour les sols à profil calcaire moyennement différencié.



PRINCIPAUX CARACTERES MORPHOLOGIQUES			PRINCIPAUX TYPES DE DIFFERENCIATIONS PEDOLOGIQUES																			
			Profil calcaire																			
			Non différencié				Peu différencié				Moyennement différencié				Très différencié							
			Teneur en calcaire de l'horizon Aca																			
			Calcaire		Non calc.		Calcaire		Non calc.		Calcaire		Non calc.		Calcaire		Non Calc.					
			Couleur de l'horizon At																			
			TC	C	S	C	S	TC	C	S	C	S	TC	C	S	C	S	TC	C	S	C	S
Profil calcaire	Horizon Bca	Absent	x	x	x	x	x															
		Distribution diffuse						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Amas friables											x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Nodules											x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Profil calcaire	Horizon Bca	Encroûtement non feuilleté																x	x	x	x	x
		Croûte sur encroûtement non feuilleté																x	x	x	x	x
		Dalle sur encroûtement non feuilleté																x	x	x	x	x
		Dalle sur croûte sur encroûtement non feuilleté																x	x	x	x	x
		Simple						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Double											x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Triple																x	x	x	x	x
	Horizon Aca	Calcaire	x	x	x			x	x	x			x	x	x			x	x			
		Non ou peu calcaire				x	x				x	x						x	x			x
	Horizon C	Sans amas friables ni nodules	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		A amas friables et nodules												x	x	x	x	x	x	x	x	x
Profil textural	Profil textural argileux	Absent	x	x	x	x	x															
		Irrégulier	x	x	x	x	x															
		Croissance régulière du taux d'argile						x	x	x	x	x										
		Présence d'un maximum d'argile peu développé						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Profil textural	Horizon Bt	Présence d'un maximum d'argile développé						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		Teneurs en argile identiques dans At et C						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		Teneur en argile de At inférieure à celle de L						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		Max. d'argile situé au-dessous du max. calcaire						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Profil des couleurs	Couleur dominante	5 YR	x	x	x			x	x	x			x	x	x			x	x			
		2,5 YR				x	x					x	x					x	x		x	
	Horizon At	TC = très clair = valeur et intensité : > 4/4	x					x					x					x				
		C = clair = valeur et intensité : 3,5/3,5 à 4/4		x				x					x					x				
Profil structural	Pellicule lamellaire de surface (glaçage)	Très développée	x					x					x				x					
		Développée	x	x				x	x				x	x			x	x				
		Peu développée		x	x			x	x	x			x	x	x		x	x	x			
		Absente				x					x										x	
	Structure At (sec)	Mal développée	x	x				x					x				x					
		Moyennement développée		x	x	x		x					x				x					
		Bien développée			x	x		x	x				x				x				x	
		Polyédrique à nuciforme	x	x	x			x	x	x			x	x			x	x			x	
	Sous-structure At (humide)	Mal développée	x	x				x					x				x					
		Moyennement développée		x	x	x		x					x				x					
		Bien développée			x	x		x	x				x				x				x	
		Grumelleuse	x	x	x			x	x				x				x				x	
Profil structural	Structure Bt (sec)	Grumelleuse à grenue			x			x					x				x				x	
		Mal développée				x	x	x	x	x												
		Moyennement développée				x	x	x	x	x	x											
		Bien développée				x	x	x	x	x	x	x										
Profil structural	Structure Bt (sec)	Polyédrique				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		Prismatique				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

TABLEAU IX. Les principaux caractères morphologiques des sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya



# 3

---

## Les principaux caractères chimiques et minéralogiques des sols

Après l'étude, dans le chapitre précédent, des grandes lignes de l'organisation des sols de plaines de la Basse Moulouya, étude qui s'appuie surtout sur des observations de terrain, ce troisième chapitre est consacré aux compléments apportés par les analyses de laboratoire. Il ne s'agit pas de revenir sur les données concernant le calcaire, la texture et la structure, mais d'étudier d'autres caractères dont l'expression morphologique, dans le profil, est limitée. J'aborderai ainsi successivement l'étude de la matière organique, du fer, de la solution du sol, du complexe adsorbant, des minéraux argileux.

### I. LE PROFIL ORGANIQUE

Le profil organique est certainement ce qui, dans les sols, a été le plus modifié par le pâturage et les cultures. Son étude ne peut cependant être négligée, ne serait-ce qu'à cause de l'importance qui lui est donnée actuellement pour la classification et l'interprétation de ces sols ; en fait, cette

étude reste indispensable, en particulier pour situer ces sols par rapport aux autres sols de la région et du Maroc, et pour essayer de comprendre leur évolution récente.

#### A. Les teneurs en matière organique totale.

Les principaux faits, établis à partir de plusieurs milliers d'analyses faites depuis dix ans, sont les suivants :

1. Dans l'ensemble des plaines, quel que soit le type de sol, la teneur en matière organique des cinq premiers centimètres des sols s'établit, le plus souvent, entre 1,5 et 2,5%. Dans certains sols elle peut aller jusqu'à 3,5-4%. Cette teneur varie dans l'espace d'une façon très irrégulière.

2. Dans les sols à profils calcaires peu et moyennement différenciés, la décroissance, en général régulière, de la matière organique avec la profondeur, se fait selon une courbe qui se situe entre deux courbes extrêmes dessinées dans la figure 21. La courbe 1 est celle des sols calcaires dès la surface et à horizon At clair ou très clair ; ces sols, situés dans les zones arides, sont cultivés d'une façon très extensive. La courbe 2 est celle des sols non calcaires dans les horizons supérieurs et à horizon At

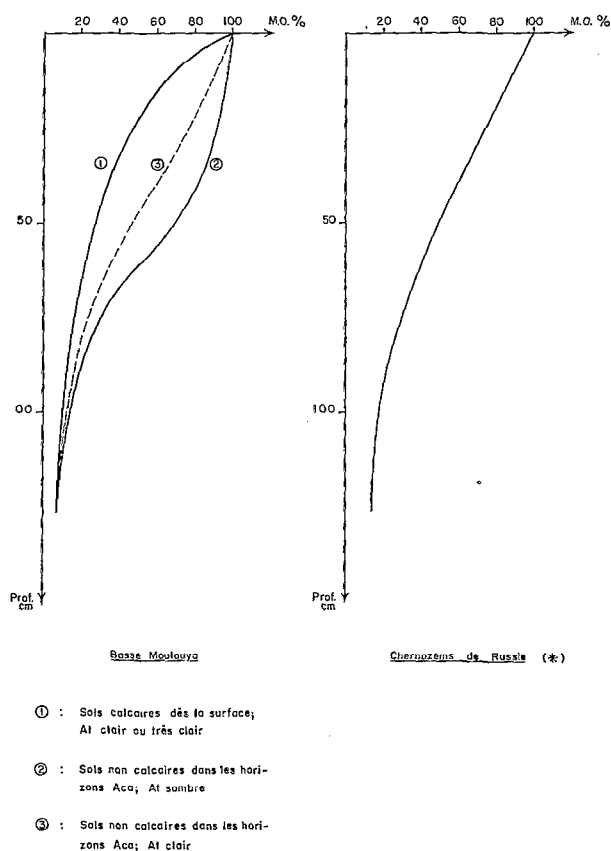


FIG. 21. — Répartition de la matière organique totale dans les sols à profil calcaire peu ou moyennement différencié des plaines de la Basse Moulouya et dans les Chernozems de Russie (résultats exprimés en % des teneurs de l'horizon de surface).

(\*) Ministère de l'Agriculture de l'U.R.S.S., 1964.

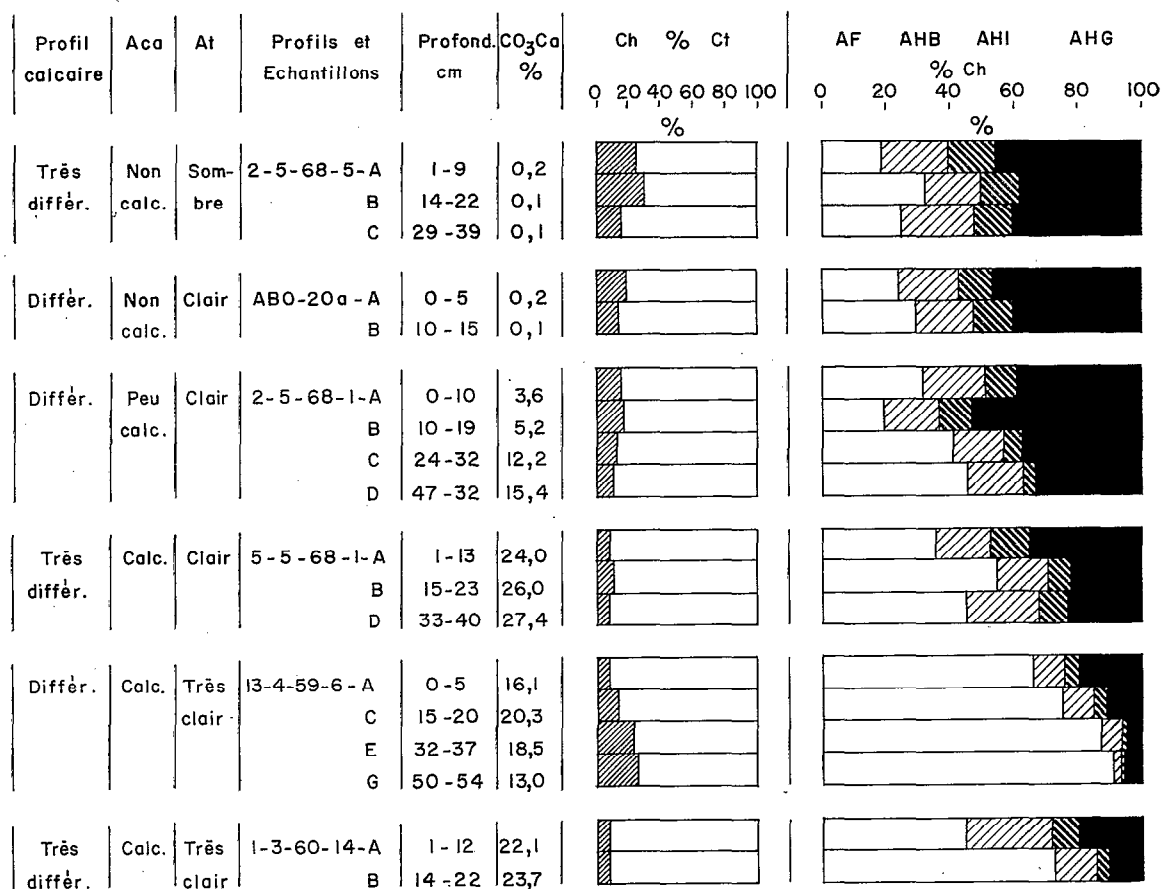


FIG. 22. — Quelques exemples de la composition des matières humiques dans les sols des plaines de la Basse Moulouya.

sombre ; situés dans les secteurs semi-arides, ces sols sont cultivés d'une façon plus intensive. On peut encore préciser que la courbe 3 est celle des sols non calcaires dans les horizons supérieurs mais dont les At sont clairs : c'est cette courbe qui se rapproche le plus de celle des sols steppiques de Russie.

3. Dans les sols à profil calcaire très différencié, la teneur en matière organique baisse souvent plus vite dès que l'on aborde l'encroûtement.

4. Dans certains sols à profil calcaire non ou peu différencié et à profil argileux non différencié ou irrégulier, le profil organique est quelquefois irrégulier, avec des teneurs élevées (1% et plus jusqu'à plus d'un mètre de profondeur).

## B. Composition de la matière organique.

En ce qui concerne tout d'abord les rapports C/N, on doit noter qu'ils sont toujours faibles. Quel que soit le type de sol :

- ils sont en général inférieurs à 10 dès la surface ;
- ils diminuent progressivement avec la profondeur pour atteindre des chiffres très faibles, inférieurs à 5, vers 70-100 cm.

L'étude des matières humiques a été commencée. Grâce à la collaboration des laboratoires de Rabat (P. BILLAUX et Y. SHAWI) et de Bondy (B. DABIN et P. PELLOUX), plus d'une centaine d'échantillons ont été analysés et ces premiers résultats sont importants :

1. Les taux d'humification (rapport entre le carbone de l'humus et le carbone total) sont faibles : 0,1 à 0,3. Les taux les plus élevés sont en général ceux des sols à horizon At sombre, les taux les plus faibles étant ceux des sols à horizon At très clair. La méthode d'extraction utilisée fut cependant certainement insuffisante pour séparer la totalité des composés humiques ; l'humine, en particulier, dont la proportion est probablement importante dans ces sols, n'a pas été dosée (DUCHAUFFOUR et JACQUIN, 1966 ; PLEVEN, SCHMELTZ et RIGHI, 1967).

2. Les proportions d'acides fulviques par rapport aux acides humiques et, dans ces derniers, l'importance relative des acides humiques bruns et gris, varient entre deux extrêmes (fig. 22) :

- Dans les sols à horizons supérieurs non calcaires et à At sombre ou clair, les rapports AF/AH sont faibles : 0,2 à 0,5 ; parmi les acides humiques, la proportion des gris est forte : 50 à 80%.
- Dans les sols calcaires dès la surface et à horizon At très clair, les rapports AF/AH sont supérieurs à 1 (ils peuvent dépasser 3) et la proportion des acides humiques gris varie entre 30 et 60%.

Par ailleurs, on constate en général que verticalement les proportions d'acides fulviques et d'acides humiques bruns s'accroissent en profondeur dès que le calcaire apparaît ou augmente.

## C. Conclusions.

De cette étude des profils organiques, il faut surtout retenir les rapports qui apparaissent entre les divers aspects de ces profils d'une part, les profils calcaires et les couleurs des horizons At d'autre part (profils calcaires et couleurs auxquels correspondent, rappelons-le, des types de structure bien définis). L'augmentation des teneurs en calcaire dans les horizons At et Bt et l'éclaircissement des horizons At sont accompagnés par :

- une décroissance plus rapide des teneurs en matière organique en profondeur ;
- une légère diminution des taux d'humification ;
- une augmentation des proportions d'acides fulviques et d'acides humiques bruns.

## II. LE FER

Le rôle du fer dans la pédogenèse des sols des régions méditerranéennes est encore mal connu. Les divers états possibles de ce fer ; sa dynamique en fonction du calcaire, des argiles, de la matière organique ; son rôle dans l'agrégation et la rubéfaction ; etc. ; tout ceci est encore du domaine de l'hypothèse et attire l'attention de chercheurs de plus en plus nombreux.

En raison de l'importance des moyens de laboratoire nécessaires pour étudier ces problèmes, ma contribution dans ce domaine est faible. Grâce à la collaboration du laboratoire de Bondy (B. DABIN et P. PELLOUX), je dispose cependant de quelques 200 résultats d'analyses classiques du fer libre et du fer total ; par ailleurs, l'étude du fer amorphe a été commencée par P. SEGALEN sur quelques-uns de mes profils, mais les résultats ne sont pas encore disponibles.

L'étude morphologique et analytique du fer dans les sols de la Basse Moulouya impose la distinction de deux grands groupes de sols, entre lesquels les intermédiaires sont nombreux :

- les sols non ou peu calcaires dans les horizons Aca : ils sont, rappelons-le, dominés par la couleur rouge (2,5 YR) ;
- les sols calcaires dès la surface et de couleur brun-rouge (5 YR).

1. On doit d'abord noter l'absence presque totale de tous nodules ou concrétions ferrugineuses visibles à l'œil nu. Seuls quelques sols à horizon Aca non calcaire et situés dans les bas-fonds où une hydromorphie temporaire est assez fréquente (zone de Madagh, dépressions dans les Ouled Mansour), peuvent contenir, vers 100 cm de profondeur, quelques concrétions ferrugineuses pouvant avoir jusqu'à 1 cm de diamètre.

Cependant, dans les sols non calcaires, l'étude microscopique permet de faire les observations suivantes :

- le plasma apparaît comme entièrement imprégné par une « peinture » rouge ;
- les « cutans » sont souvent des « ferri-argillans » (BREWER, 1964) que l'on retrouve assez profondément dans les gros pores des horizons Bca ;
- les petites concrétions ferrugineuses et agrégats à ciment ferrugineux (nodules) sont fréquents.

Tout ceci est, par contre, inexistant dans les sols brun-rouge calcaires dès la surface, dont la micromorphologie, dominée par le calcaire, est très différente de celle des sols rouges à Aca non calcaire.

2. Les analyses de fer libre et total ont donné les quelques résultats suivants :

— Pour ce qui est des teneurs en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total par rapport à la terre non calcaire, il y en a, en fonction surtout de la richesse en argile, 4' à 7%, et il n'y a pas de différences systématiques entre les deux groupes de sols.

— Les teneurs en fer libre sont, par contre, nettement plus élevées dans les sols dominés par la couleur rouge : les rapports fer libre sur fer total se situent entre 0,5 et 0,7, le plus souvent vers 0,6 alors que dans les sols brun-rouge ils ne sont que de 0,4 à 0,5.

— A l'intérieur d'un sol, les teneurs en fer libre et total, par rapport à la terre non calcaire, augmentent et diminuent à peu près parallèlement au profil textural argileux ; ce n'est pas là une règle absolue mais assez générale quand même. L'horizon Bt étant souvent le niveau le plus rouge du sol, on constate donc une certaine corrélation entre les teneurs en fer et l'importance de la rubéfaction. Par contre, à l'intérieur d'un sol, il n'y a aucune corrélation entre les variations, assez faibles, de la couleur rouge des horizons et les rapports fer libre sur fer total : on constate seulement que dans les sols à Aca non ou peu calcaire, ce rapport est un peu plus élevé dans les horizons At et surtout Bt que dans les horizons Bca et C ; cette différence s'atténue puis disparaît quand on passe aux sols calcaires dès la surface.

### III. LA SOLUTION DU SOL ET LE COMPLEXE ADSORBANT

Les phénomènes de salure et d'alcalisation des sols étant assez courants en Basse Moulouya, une étude détaillée des sels solubles et des complexes adsorbants a dû être réalisée pour essayer de surmonter les nombreux obstacles que ces phénomènes opposent à la mise en valeur. Le sujet a été, tout particulièrement, approfondi dans la plaine du Zebra où la cartographie des sols a été suivie d'une série d'expérimentations sur le terrain et au laboratoire (RUELLAN, 1960, 1963, 1964 b, c, d, 1965 b).

Les mesures de pH et de conductivité, les analyses de la solution du sol et du complexe adsorbant par des méthodes variées, les essais de dessalage et de désalcalisation, tout ceci a été fait en grands nombres, une partie des résultats n'étant d'ailleurs pas encore publiée. De tout ceci, il ne sera retenu, dans les paragraphes qui suivent, que l'essentiel nécessaire pour continuer la caractérisation des sols.

1. En plus des phénomènes de salinisation et d'alcalisation liés soit à la présence, à faible profondeur, d'une nappe phréatique salée (plaine côtière de Saïdia), soit aux irrigations actuelles (cuvette des Triffa), les sols de la région sont fréquemment salés et, plus souvent encore, alcalisés.

2. La salure n'existe que dans les sols des zones arides : elle est bien développée dans la plaine du Zebra. Ses caractéristiques essentielles sont les suivantes :

— Elle n'est développée que dans les horizons profonds, au-delà de 40-50 cm : la conductivité y atteint 10 à 25 mmhos alors qu'en surface elle ne dépasse pas 2 à 3 mmhos. Il s'agit surtout de chlorure de sodium.

— Elle est absente des sols à profil calcaire non ou peu différencié. Elle est au contraire très forte dans les sols encroûtés, les salures maximum se situant souvent à la base et sous l'encroûtement.

3. L'alcalisation, estimée d'après les pH, est un phénomène qui n'affecte aussi que les horizons profonds, mais d'une façon beaucoup plus générale, dans l'ensemble de la région.

— En surface, les pH eau sont de l'ordre de 7,5 à 8,3 dans les sols non calcaires (pH KCL : 6,5 à 7,2), et de 8,3 à 8,7 dans les sols calcaires (pH KCl : 7,2 à 7,6). En profondeur, dans les sols à profil calcaire moyennement ou très différencié, les pH eau atteignent et dépassent souvent 9,0 : quand la salure est faible et la teneur en calcaire élevée, des chiffres de 9,5 et plus ne sont pas rares (pH KCl : 7,7 à 8,5).

— Cette alcalisation est due soit à la présence de sodium sur le complexe adsorbant, soit plus souvent à de fortes proportions de magnésium sur le complexe (30 à 70%) et à l'existence de quelques % de carbonate de magnésium actif. Il faut, en particulier, souligner le parallélisme, à première vue curieux, mais fréquent, entre l'augmentation du calcaire et la diminution du pourcentage du calcium sur le complexe, quand on passe des horizons Aca aux horizons Bca et C, ce calcium étant remplacé par du sodium et surtout par du magnésium.

— Ces phénomènes d'alcalisation sont moins intenses et souvent absents dans les sols à horizon At sombre.

— L'alcalisation sodique n'est développée que dans les zones arides, la plaine du Zebra en particulier.

— Il faut enfin souligner les proportions élevées de potassium sur les complexes adsorbants des horizons calcaires, en surface comme en profondeur ; dans le Zebra, il peut y en avoir plus de 15%.



## IV. LES MINÉRAUX ARGILEUX

L'étude des minéraux argileux dans les roches et les sols de la Basse Moulouya, a été réalisée grâce à la collaboration de U. SCHOEN (I.N.R.A., Rabat), puis à celle de G. MILLOT et M<sup>lle</sup> H. PAQUET (Institut de Géologie, Strasbourg). La plupart des résultats ont déjà été publiés récemment (SCHOEN, 1968 ; MILLOT, PAQUET, RUELLAN, 1969 ; PAQUET, RUELLAN, TARDY, MILLOT, 1969 ; PAQUET, 1969) ; l'essentiel seulement est résumé ci-dessous (tabl. XI, XII, XIII ; fig. 23, 24, 25).

1. *L'illite*, plus ou moins altérée, constitue le plus souvent la plus grande partie des minéraux de la fraction fine inférieure à 2 microns. Sa cristallinité, c'est-à-dire le « bâillement » des interfoliaires, est cependant variable en fonction des horizons et des sols :

— C'est dans les sols à horizon Aca non calcaire ou At sombre que l'altération de l'illite est la plus forte, sur tout le profil. Elle est cependant, en général, moins forte que celle observée dans les sols des Bni Snassène : les édifices interstratifiés sont peu développés (voir chap. 5).

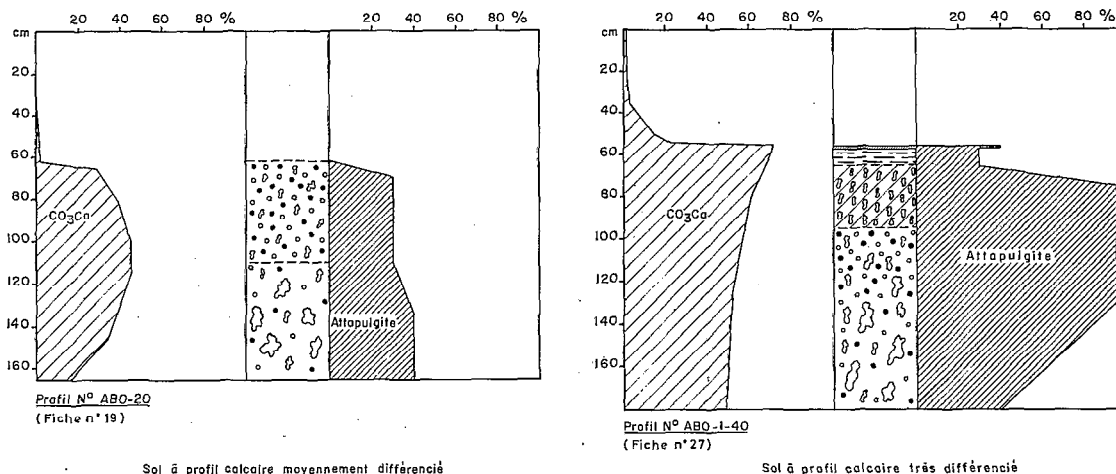
— Les altérations les moins poussées sont celles des sols à horizon Aca très calcaire et At très clair (Zebra). Les interstratifiés y sont rares.

— Verticalement, le « bâillement » des interfoliaires est toujours plus réduit dans les horizons Bca et C que dans les horizons Aca.

2. *La vermiculite* est toujours absente. *La montmorillonite* est rare.

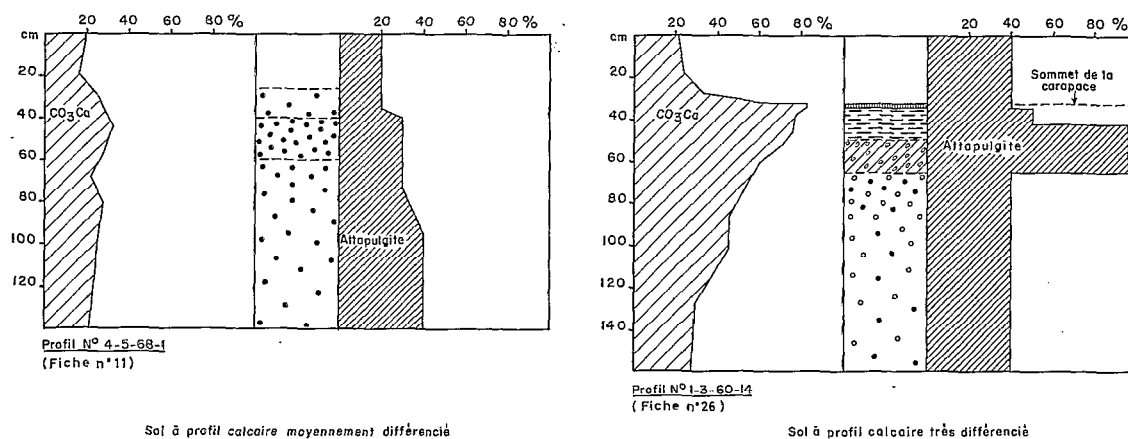
3. Il y a toujours 10 à 20% de *chlorite* dont l'importance de l'altération est parallèle à celle de l'illite. Dans les encroûtements calcaires de la plaine du Zebra, ce minéral est souvent très bien cristallisé.

4. Il y a également toujours un peu de *kaolinite* et, en moyenne, elle est légèrement plus abondante dans les sols des zones ouest : nous verrons que dans les massifs montagneux, la kaolinite est également plus fréquente dans les roches et les sols des zones ouest (chap. 5).



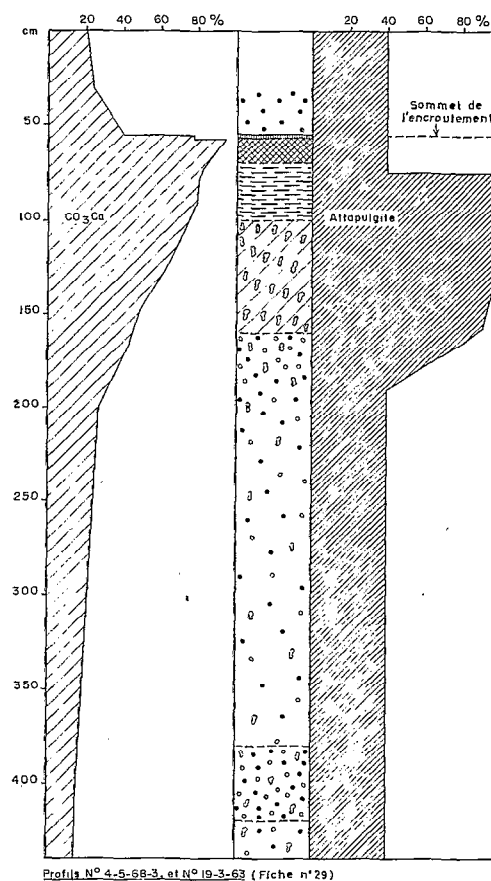
(pour la légende de la concentration du calcaire, voir figure 6)

FIG. 23. — L'attapulgite dans les sols à horizon Aca non calcaire de la plaine des Triffa.



(pour la légende de la concentration du calcaire, voir figure 6)

FIG. 24. — L'attapulgite dans les sols à horizons Aca calcaire et At très clair de la plaine du Zebra.



(pour la légende de la concentration du calcaire, voir figure 6)

FIG. 25. — L'attapulgite dans les sols à encroûtement épais : exemple pris dans la plaine de Zebra

5. La principale originalité minéralogique des sols de plaines, par rapport à ceux de la montagne, est la présence de l'*attapulgite* dont l'étude de la répartition, en fonction des horizons et des types de sols, a fourni des résultats importants :

a. Dans les sols à profil calcaire non ou peu différencié, l'*attapulgite* est absente des sols à At sombre (zones semi-arides) et présente, presque dès la surface, dans les sols calcaires à At très clair (zones arides) : il peut y en avoir jusqu'à 50% de la fraction argileuse.

b. Dans les sols à profil calcaire moyennement différencié :

— L'*attapulgite* est toujours absente des horizons non calcaires ; elle apparaît au niveau des horizons Bca et d'autant moins profondément que cet horizon Bca est mieux développé ou que l'horizon At est plus clair.

— Dans les sols calcaires dès la surface, elle apparaît également d'autant moins profondément que l'horizon At est plus clair ; dans les sols très clairs du Zebra elle peut être présente dès quelques centimètres de profondeur.

— La proportion d'*attapulgite* ne dépasse jamais 50% de la fraction argileuse. Les teneurs atteintes dans l'horizon Bca se maintiennent dans l'horizon C, avec quelquefois une légère diminution.

c. Dans les sols à profil calcaire très différencié, l'*attapulgite* est le principal minéral argileux de la plupart des encroûtements :

— Dans les sols à At sombre, les proportions d'*attapulgite* dans les encroûtements restent assez faibles (30%).

— De même, dans les sols où Bca n'est constitué que par un encroûtement non feuilleté, le maximum atteint par l'*attapulgite* au niveau de cet encroûtement est de l'ordre de 50%.

— Par contre, dans tous les autres sols encroûtés, l'*attapulgite* devient le minéral argileux essentiel de la plus grande partie de l'horizon Bca : elle atteint près de 100% dans les encroûtements non feuilletés et dans les croûtes tendres ; elle est cependant moins abondante (40-50%) dans les horizons supérieurs et durcis : croûtes dures, dalles compactes, pellicules rubanées.

— Au-dessus des encroûtements, l'*attapulgite* est absente des horizons Aca non calcaires ou sombres en surface. Elle est au contraire présente dès la surface dans les sols à horizon Aca calcaire et très clair.

— Sous les encroûtements, l'*attapulgite* rediminue assez brusquement à 20-40%, teneur qui peut ensuite se maintenir dans les horizons C sur plusieurs mètres d'épaisseur.

## LÉGENDE DES TABLEAUX CONCERNANT LA MINÉRALOGIE DES ARGILES

- I : Illite (stable à 10 Å).  
 I° : Illite ouverte (interfoliaires baillants, mais pas de gonflement sous l'influence des polyalcools).  
 V = I4v : Minéraux à comportement de vermiculite (les interfoliaires de 14 Å ne gonflent pas à 17 Å sous l'influence des polyalcools, mais se réduisent vers 10 Å après chauffage).  
 M = I4m : Minéraux à comportement de montmorillonite (les interfoliaires de 14 Å gonflent à 17 Å sous l'influence des polyalcools).  
 A : Attapulgite.  
 C + K : Chlorite + Kaolinite (Ck : C < K ; CK : C = K ; Kc : K > C) (la chlorite, dans les sols, est généralement très altérée).  
 IV = (I0-I4v) : Interstratifiés de feuillets à comportement d'illite et de vermiculite.  
 IM = (I0-I4m) : Interstratifiés de feuillets à comportement d'illite et de montmorillonite.  
 IC = (I0-I4c) : Interstratifiés de feuillets à comportement d'illite et de chlorite.  
 VM = (I4v-I4m) : Interstratifiés de feuillets à comportement de vermiculite et de montmorillonite.  
 CV = (I4c-I4v) : Interstratifiés de feuillets à comportement de chlorite et de vermiculite.  
 CM = (I4c-I4m) : Interstratifiés de feuillets à comportement de chlorite et de montmorillonite.  
 reg : Interstratifiés réguliers.

Les résultats sont donnés en % des minéraux cristallisés de la fraction fine (< 2 microns) non calcaire.

TABLEAU XI. Minéraux de la fraction fine (&lt; 2 microns) des sols à profils calcaires peu différencié et différencié

Profils n <sup>os</sup> localisation	Ech. n <sup>os</sup>	Prof. cm	Dénominations des horizons	I	I°	Edif. interstr.		C + K		A
						Composit.	%	Rep	%	
ABO-31 (Fiche n° 18) Triffa	A	0- 5	At clair, rouge, non calcaire			I-IV-CM	80	CK	20	
	D	30- 35	Bt, rouge, non calcaire			I-IV-CM	80	CK	20	
	F	65- 75	Bca ; amas peu nombreux			I-IV-CM	80	CK	20	
	G	90-100	Bca ; amas peu nombreux			I-IV-CM	60	CK	20	20
	H	115-125	Bca ; amas et nodules nombreux			I-IV-CM	50	CK	20	30
31-12-59-2 (Fiche n° 9) Zebra	B	15- 20	At très clair, brun-rouge, calcaire		40			CK	20	40
	E	70- 80	Bca ; amas nombreux	40				CK	20	40
	H	120-130	C ; amas peu nombreux		40			CK	20	40
ABO-20 (Fiche n° 19) Triffa	B	10- 15	At clair, rouge, non calcaire			I-IV	80	CK	20	
	E	40- 48	Bt, rouge, non calcaire			I-IV	80	CK	20	
	G	75- 85	Bca ; amas et nodules nombreux		50			CK	20	30
	H	95-105	Bca ; amas et nodules nombreux		50			CK	20	30
	J	140-150	C ; gros amas et nodules		40			CK	20	40
4-5-68-1 (Fiche n° 11) Zebra	A	1- 13	At très clair, brun-rouge, calcaire	50		CM	10	CK	20	20
	B	16- 23	At très clair, brun-rouge, calcaire	50		CM	10	CK	20	20
	C	26- 35	Bca ; amas peu nombreux	50		CM	10	CK	20	20
	D	40- 49	Bca ; amas nombreux	50		CM	tr	CK	20	30
	E	53- 60	Bca ; amas nombreux	40		CM	tr	CK	30	30
	F	63- 73	C ; amas peu nombreux	40		CM	tr	CK	30	30
	H	95-105	C ; amas nombreux	40		CM	tr	CK	20	40
	I	107-118	C ; amas nombreux	40		CM	tr	CK	20	40
	J	135-145	C ; amas peu nombreux	40		CM	tr	CK	20	40

TABLEAU XII. Minéraux de la fraction fine (&lt; 2 microns) des sols à profil calcaire très différencié : sols à encroûtement peu épais

Profils n <sup>os</sup> localisations	Ech. n <sup>os</sup>	Prof. cm	Dénominations des horizons	I	I <sup>o</sup>	Edif. interstr.		C + K		A
						Composit.	%	Rep.	%	
5-5-68-1 (Fiche n° 23) Boughriba	A	1- 13	At clair, brun-rouge, calcaire		60			Ck	40	tr
	B	15- 23	At clair, brun-rouge, calcaire		60			Ck	40	tr
	C	23- 31	At clair, brun-rouge, calcaire		60			Ck	40	tr
	D	33- 40	Bca ; accumulation diffuse		40			Ck	30	30
	E	40- 47	Bca ; amas peu nombreux		40			Ck	30	30
	F	48- 60	Bca ; amas nombreux		40			Ck	30	30
	G	65- 83	Bca ; encroûtement massif		30			Ck	20	50
	H	93-104	Bca ; base encroûtement		30			Ck	20	50
	I	140-155	C ; amas et nodules nombreux		50			Ck	30	20
2-5-68-5 (Fiche n° 28) Triffa Est	A	1- 9	At sombre, brun-rouge, non calcaire			I-IV-CM	80	Ck	20	
	B	14- 22	At sombre, brun-rouge, non calcaire			I-IV-CM	80	Ck	20	
	C	29- 39	Bt, rouge, non calcaire			I-IV-CM	80	Ck	20	
	D	43- 52	Bt, rouge, non calcaire			I-IV-CM	80	Ck	20	
	E	62- 75	Bt, rouge, peu calcaire			I-IV-CM	80	Ck	20	
	F	76- 84	Bca ; accumulation diffuse			I-IV-CM	80	Ck	20	tr
	G	93-106	Bca ; amas et nodules nombreux			I-IV-CM	70	Ck	30	tr
	H	120-125	Bca ; dalle compacte		70			Kc	30	tr
	I	130-135	Bca ; encroûtement nodulaire		50	CM	20	Ck	tr	30
	J	150	C ; gros amas et nodules		50	CM	20	Ck	tr	30
ABO-1-40 (Fiche n° 27) Triffa	B	10- 15	At clair, rouge, peu calcaire		80			Ck	20	
	D	30- 40	Bt, rouge peu calcaire		80			Ck	20	
	F	55- 57	Bca ; pellicule rubanée		40			Ck	20	40
	G	57- 65	Bca ; croûte		50			Ck	20	30
	H	75- 85	Bca ; encroûtement nodulaire		tr			Ck	20	100
	I	120-130	C ; gros amas et nodules		tr			Ck	20	100
	J	180	C ; gros amas et nodules		40			Ck	20	40
1-3-60-14 (Fiche n° 26) Zebra	A	1- 12	At très clair, brun-rouge, calcaire		40			Ck	20	40
	B	14- 22	At très clair, brun-rouge, calcaire		40			Ck	20	40
	C	24- 30	Bca ; accumulation diffuse		40			Ck	20	40
	Da	32- 34	Bca ; pellicule rubanée	40				Ck	20	40
	Db	35- 40	Bca ; croûte dure	30				Ck	20	50
	F	43- 49	Bca ; croûte tendre	tr				Ck	tr	100
	G	49- 56	Bca ; encroûtement nodulaire	tr				Ck	tr	100
	H	57- 63	Bca ; encroûtement nodulaire	tr				Ck	tr	100
	I	65- 74	C ; amas et granules nombreux	40				Ck	20	40
	J	82- 93	C ; amas et granules nombreux	40		CM	tr	Ck	20	40
	K	96-106	C ; amas et granules nombreux	40		CM	tr	Ck	20	40
	L	122-131	C ; amas et granules peu nombreux	40		CM	tr	Ck	20	40
	M	155-163	C ; amas et granules peu nombreux	40		CM	tr	Ck	20	40

TABLEAU XIII. Minéraux de la fraction fine (&lt; 2 microns) des sols à profils calcaires très différenciés : sols à encroûtement épais

Profils n <sup>os</sup> localisations	Ech. n <sup>os</sup>	Prof. cm	Dénominations des horizons	I	I <sup>o</sup>	Edif. interstr.		C + K		A
						Composit.	%	Rep.	%	
18-12-61-1 2-5-68-2 (Fiche n <sup>o</sup> 30) Triffa	C	10- 14	At clair, rouge, peu calcaire		60	I-IM-CM	20	CK	20	
	I	60- 62	Bca ; pellicule rubanée		50			CK	30	20
	I'	65- 75	Bca ; dalle compacte		50			CK	30	20
	H	90-100	Bca ; croûte dure		40			CK	20	40
	F	140-150	Bca ; encroûtement nodulaire		tr			CK	tr	100
	C	500	C ; colluvions et alluvions		40			CK	20	40
	B	950	C ; colluvions et alluvions		50			CK	20	30
4-5-68-3 (Fiche n <sup>o</sup> 29) Zebra	A	1400	C ; colluvions et alluvions		40			CK	30	30
	A2	1- 6	At très clair, brun-rouge, calcaire		40			CK	20	40
	A3	10- 20	At très clair, brun-rouge, calcaire		40			CK	20	40
	Aa	55- 57	Bca ; pellicule rubanée		40			CK	20	40
	A1	60- 70	Bca ; dalle compacte		40			CK	20	40
	Ab	70- 75	Bca ; croûte dure		40			CK	20	40
	B	75- 85	Bca ; croûte dure		tr			CK	tr	100
	C	85- 95	Bca ; croûte tendre		tr			CK	tr	100
	D	105-115	Bca ; encroûtement nodulaire		tr			CK	tr	100
	E	120-135	Bca ; encroûtement nodulaire		tr			CK	tr	100
	F	140-155	Bca ; encroûtement nodulaire		tr			CK	10	90
19-3-63	G	160-170	C ; colluvions et alluvions		10			CK	10	80
	3	400	C ; colluvions et alluvions		40			CK	20	40
	5	600	C ; colluvions et alluvions		40			CK	20	40
	7	700	C ; colluvions et alluvions		40			CK	20	40
	9	1200	C ; colluvions et alluvions		40			CK	20	40

## V. CONCLUSION

Cette conclusion sera brève : juste pour souligner que les résultats analytiques confirment et précisent les limites des principaux types de différenciations pédologiques que l'observation sur le terrain des profils morphologiques a permis de distinguer. On remarquera en particulier l'importance du profil calcaire et des profils structuraux et de couleur : le passage d'un type à un autre correspond à des modifications sensibles des caractères chimiques et minéralogiques.

D'autres caractères pourraient encore être décrits : capacité de rétention, densité apparente, phosphore, potasse, éléments totaux ; tout ceci a été étudié, pour certains éléments, d'une façon détaillée. La présentation de ces faits alourdirait cependant ce texte sans pour autant apporter d'éléments indispensables pour les démonstrations : il m'a paru suffisant d'en citer l'essentiel dans les tableaux d'analyses qui accompagnent les fiches de profil.

---

## La répartition des sols

L'étude de la répartition des sols dans les paysages, des conditions du passage d'un type de différenciation pédologique à l'autre, ne peut être conduite qu'en fonction des autres éléments du milieu.

Il ne s'agit pas, cependant, à ce stade de l'exposé, de commencer à parler de facteurs de pédogenèse, c'est-à-dire du rôle de chacun de ces éléments du milieu sur la formation et la répartition des sols : ce serait le début d'une interprétation, de la reconstitution du passé, que je réserve pour la troisième partie.

Par ailleurs, pour rester aussi près que possible des réalités, le choix des éléments, en fonction desquels la répartition des sols sera étudiée, doit être effectué avec prudence, en se bornant à des faits sûrs et actuels. Dans les plaines de la Basse Moulouya on peut ainsi retenir :

- Le climat actuel.
- Le relief actuel dont on doit étudier trois aspects : le relief général de la région, les formes emboîtées ; la topographie de détail. La répartition des sols en fonction des matériaux et des formes du Quaternaire sera abordée dans cette rubrique.
- L'occupation et l'utilisation actuelle du sol, c'est-à-dire la végétation, le pâturage, la mise en valeur en sec et en irrigué.

## I. LA RÉPARTITION DES SOLS EN FONCTION DES CLIMATS ACTUELS

La répartition des sols en fonction des climats étant très progressive, difficile à saisir globalement, il est nécessaire de procéder à son étude en reprenant successivement les profils morphologiques et analytiques qui, dans les deux chapitres précédents, ont permis de décrire ces sols.

### A. Le profil calcaire.

Les faits à souligner sont les suivants :

1. Tous les types de profils calcaires que j'ai distingués sont présents dans toutes les zones climatiques des plaines de la Basse Moulouya.

2. Cependant, si l'on compare les extrêmes, c'est-à-dire la cuvette des Triffa semi-aride à la plaine du Zebra aride, on relève un certain nombre de différences importantes :

— Dans la cuvette des Triffa, les horizons Bca sont dans l'ensemble mieux développés, plus épais, plus nodulaires que dans le Zebra ; la dureté des encroûtements y est plus accentuée et les encroûtements nodulaires y sont largement dominants sur les encroûtements massifs. Les profondeurs auxquelles commencent ces horizons, les encroûtements en particulier, sont également, en moyenne, plus grandes dans les Triffa. Par contre, le feuilletage des encroûtements, le développement des croûtes feuilletées par rapport aux encroûtements non feuilletés, est nettement meilleur dans le Zebra. Il ne faut cependant pas exagérer l'importance de ces différences, qui, en ce qui concerne les profondeurs et les épaisseurs, sont de l'ordre de 20 à 50 cm.

— Dans la cuvette des Triffa, les horizons Aca non ou peu calcaires sont beaucoup plus fréquents que dans la plaine du Zebra.

3. Entre ces deux extrêmes, les zones de transition sont très progressives et difficiles à circonscrire. Le fait le plus net est l'augmentation à peu près régulière, dans la majorité des sols, de la teneur en calcaire des horizons Aca quand on va des zones semi-arides vers les zones arides ; ceci n'est pas, cependant, une règle absolue : il y a dans le Zebra et près de Madagh des sols à horizon Aca non calcaire, et il y a, à l'est, près de l'Algérie, des sols à horizon Aca très calcaire.

On retiendra donc que la répartition des profils calcaires en fonction des climats actuels est un fait certain, mais que les lois qui ordonnent cette répartition ne se révèlent pas, à première vue, très strictes : elles sont en fait marquées par la variété des matériaux originels.

### B. Le profil textural.

La répartition des profils texturaux en fonction des climats est très lâche.

Il faut seulement se souvenir de ce que les sols à horizon Aca non calcaire sont généralement des sols très argileux, à « cutans » (ce sont surtout des séparations plasmiques), et que ces sols sont beaucoup plus fréquents dans les zones semi-arides.

On ne peut, par contre, établir aucun rapport entre les zones climatiques et l'importance du développement des horizons At et Bt.



### C. Les couleurs.

C'est certainement par les couleurs que l'on peut constater, sur le terrain, les variations les plus nettes des sols en fonction des zones climatiques.

1. Dans l'ensemble, la coloration rouge diminue quand on se déplace du semi-aride vers l'aride : dans les Triffa, les profils dominés par la couleur 2,5 YR sont les plus fréquents ; dans le Zebra, au contraire, le brun-rouge 5 YR est la couleur dominante : mais les sols très rouges n'y sont pas complètement absents.

2. La variation la plus nette et la plus générale concerne la couleur de l'horizon de surface : les couleurs sombres, à valeur et chroma (humide) inférieure à 3,5/3,5, n'existent que dans les zones les plus humides des Triffa, le long des Bni-Snassène orientaux et en bordure du Kiss ; au contraire, les couleurs très claires, supérieures à 4/4, sont celles des zones arides comme le centre de la plaine du Zebra où seuls les sols situés au fond de certains vallons, plus souvent humides, ont des couleurs un peu plus sombres, de l'ordre de 4/4 (fig. 26).

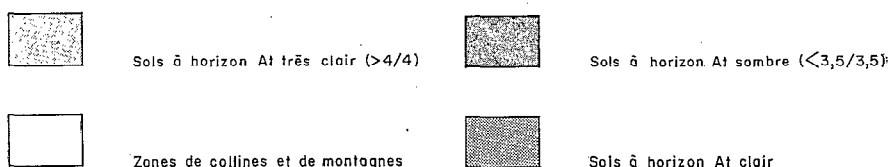
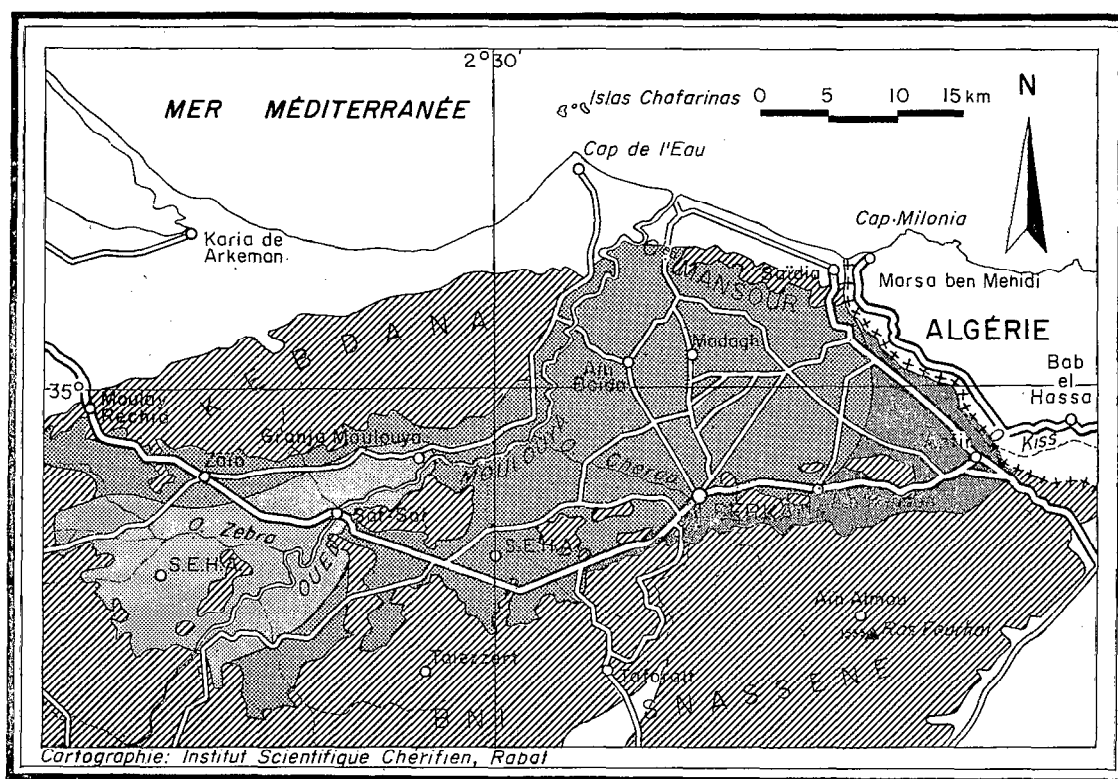


FIG. 26. — Répartition schématique des sols à horizon At sombre, clair et très clair dans les plaines de la Basse Moulouya.

#### D. Le profil structural.

Le seul horizon dont la structure se modifie parallèlement au climat est l'horizon superficiel At.

Quand on va des secteurs les plus humides vers les zones les plus arides, et si on compare, dans des sols dont la couverture végétale ou l'utilisation est à peu près la même, des horizons de teneurs en calcaire identiques, les modifications, qui apparaissent nettement, sont les suivantes :

1. La pellicule superficielle à structure lamellaire (glâçage), presque absente des sols des zones les plus humides, se développe progressivement.
2. Dans son ensemble, la structure de l'horizon At, bien développée dans les zones les plus humides, avec sous-structure grumeleuse et grenue, s'élargit et perd de sa netteté et de sa stabilité.
3. La proportion d'éléments coprogènes et leur profondeur diminuent.

#### E. Le profil organique.

La répartition des profils organiques en fonction des climats, s'établit tout à fait parallèlement à celles des couleurs et des structures.

Cette répartition ne concerne pas les teneurs en matière organique en surface qui sont à peu près les mêmes partout. Mais quand on va du semi-aride vers l'aride, on constate, pour les sols présentant les mêmes profils calcaires mais des conditions d'utilisation par l'homme de plus en plus extensives ;

- une décroissance de plus en plus rapide des teneurs en matière organique en profondeur : on passe de la courbe 2 à la courbe 1, représentée sur la figure 21 (chap. 3, § I-A) ;
- une légère diminution des taux d'humification ;
- une augmentation des proportions d'acides fulviques et d'acides humiques bruns.

#### F. Le fer.

La seule répartition que l'on puisse constater en fonction du climat est parallèle à celle déjà citée pour la coloration rouge : quand on se déplace du semi-aride vers l'aride, les rapports du fer libre sur le fer total diminuent dans la majorité des sols, en même temps que la couleur devient brun-rouge. Le rapport décroît, en moyenne, de 0,6 à 0,4-0,5.

#### G. La solution du sol et le complexe adsorbant.

Je rappellerai seulement à ce sujet le développement des phénomènes de salinisation et d'alcalisation des horizons B et C dans les zones arides du Zebra.

#### H. Les minéraux argileux.

La composition minéralogique de la fraction fine inférieure à 2 microns et l'altération des minéraux argileux se modifient dans les sols en fonction des zones climatiques. Ce phénomène est discret dans les horizons non calcaires, mais assez net dans les horizons calcaires.

D'une façon générale, quand on va du semi-aride vers l'aride, on constate, dans les sols calcaires :

- une amélioration de la cristallinité des minéraux, de l'illite et de la chlorite en particulier ;
- la disparition presque complète des interstratifiés ;
- le développement de l'attapulгите qui apparaît à des profondeurs de plus en plus faibles et devient le minéral argileux largement majoritaire des encroûtements.

## I. Conclusions.

La variation des sols en fonction des zones climatiques apparaît, au total, importante. Il faut en particulier souligner les modifications qui concernent la couleur et la structure des horizons At, la répartition verticale et la composition de la matière organique, les phénomènes de salure et d'alcalisation sodique, l'altération des minéraux argileux et l'importance de l'attapulгите. Tout ceci change nettement.

Mais il faut aussi retenir une certaine indépendance de la répartition des types de profils calcaires, texturaux et de la coloration rouge, par rapport à la zonalité climatique actuelle.

## II. LA RÉPARTITION DES SOLS EN FONCTION DU RELIEF ACTUEL

Pour analyser la répartition des sols en fonction du relief, il est nécessaire d'envisager trois aspects différents de ce relief :

- le relief général de la région ;
- les formes emboîtées : on abordera là, en fait, l'étude des sols en fonction de l'âge des formations quaternaires ;
- la topographie de détail, en fonction de laquelle quantité de facteurs de la pédogenèse se modifient : matériaux originels, érosion et fossilisation des sols, circulation des eaux plus ou moins chargées dans, sur et sous les sols.

### A. Le relief général.

Il faut tout d'abord souligner que la zonalité climatique de la Basse Moulouya n'est pas indépendante des grandes lignes du relief de la région. En fait, si ce paysage côtier échappe en grande partie à l'aridité de l'arrière-pays, c'est bien grâce à la barrière des Bni Snassène qui concentre les pluies et modère les vents chauds du Sud ; et si la plaine du Zebra est à la fois plus aride et plus continentale, elle le doit au paravent des Kibdana, qui amoindrit l'influence de la mer, et à l'abaissement de la chaîne des Bni Snassène qui accentue l'influence desséchante du Sud. La répartition générale des sols en fonction des climats est donc aussi fonction du relief.

Mais d'autres aspects de la répartition des sols en fonction du relief général de la région sont indépendants de la zonalité climatique.

1. Les grandes surfaces de sols rouges, argileux, à horizon Aca non ou peu calcaire, se situent directement à l'aval des zones montagneuses où les sols rouges méditerranéens sont largement développés (voir chap. 5). C'est le cas des sols châtaîns que l'on trouve dans le nord du Zebra, au pied des collines schisto-gréseuses du Primaire ou du Jurassique des Kbdana. C'est surtout le cas des sols de la cuvette des Triffa dont la limite ouest se situe dans l'alignement de la grande faille qui, dans les Bni Snassène, sépare le massif oriental, primaire et liasique, où les sols rouges dominent largement, de la zone occidentale (Jurassique supérieur) où les sols calcomagnésimorphes sont majoritaires ; dans la plaine, à l'ouest de cette limite, les sols non calcaires en surface sont absents, les sols peu calcaires se raréfient, la rubéfaction et les teneurs en argile diminuent. Tout ceci suggère que ces sols à horizon Aca non calcaire, argileux et rouge, se sont développés sur des colluvions remaniant des sols rouges méditerranéens (fig. 27).

2. D'une façon générale, la texture des sols est à la fois plus grossière et plus hétérogène dans les zones de piémonts et terrasses : les cailloutis, en particulier, y sont plus abondants. Ceci y favorise le développement des croûtes dures et des dalles (voir chap. 2, § I-C-4-c). Par contre, dans la cuvette de Madagh, la texture des sols est particulièrement fine, ce qui contribue au développement de quelques phénomènes d'hydromorphie.

3. Dans l'ensemble, l'accumulation du calcaire dans les horizons Bca et le durcissement de ce calcaire dans les dépôts quaternaires, apparaissent plus développés dans les Triffa, situés à l'aval d'un massif montagneux où la décarbonatation des sols est importante (voir chap. 5) que dans le Zebra, et sur les piémonts, où la circulation des eaux est abondante et rapide, que sur les glacis. C'est un fait qui témoigne en faveur de l'origine latérale du calcaire accumulé dans les sols et les dépôts des plaines.

4. La répartition des sols en fonction des formes majeures du Quaternaire, telles que je les ai décrites en première partie, est assez nette :

— Sur les grands glacis du Quaternaire ancien, qui dominent en particulier les paysages du Zebra, de l'ouest des Triffa et des Ouled Mansour, les sols à encroûtements très épais sont la règle.

— Les glacis et les cônes du Quaternaire moyen, qui modèlent surtout la cuvette des Triffa, la dépression de Boughriba et la zone nord du Zebra, sont couverts de sols à profil calcaire bien différencié : forte accumulation à amas et nodules ou encroûtements peu épais.

— Sur les formations du Quaternaire récent, les sols sont à profil calcaire non ou assez peu différencié : les horizons Bca n'ont jamais plus que des amas et quelques granules.

Il y a donc une variation importante des sols, de leur profil calcaire, en fonction de l'âge des formations quaternaires : c'est ce fait qui va être détaillé en étudiant la répartition des sols dans les zones de formes emboîtées.

## B. Les formes emboîtées.

En Basse Moulouya, les zones de terrasses emboîtées, le long des oueds principaux, sont fréquentes. Ces terrasses, dans une zone donnée, sont souvent assez nombreuses et si on admet, quand on se trouve en présence de plusieurs niveaux de terrasses, qu'un niveau donné est plus vieux que celui qui se trouve juste en-dessous et qu'il est plus jeune que celui qui le domine, on dispose alors d'une échelle chronologique assez fine.

### 1. L'exemple du Zebra.

C'est dans la plaine du Zebra, et principalement le long de l'oued, que j'ai pu procéder à cette étude avec le maximum de détails. On peut y reconnaître les niveaux suivants (fig. 28) :

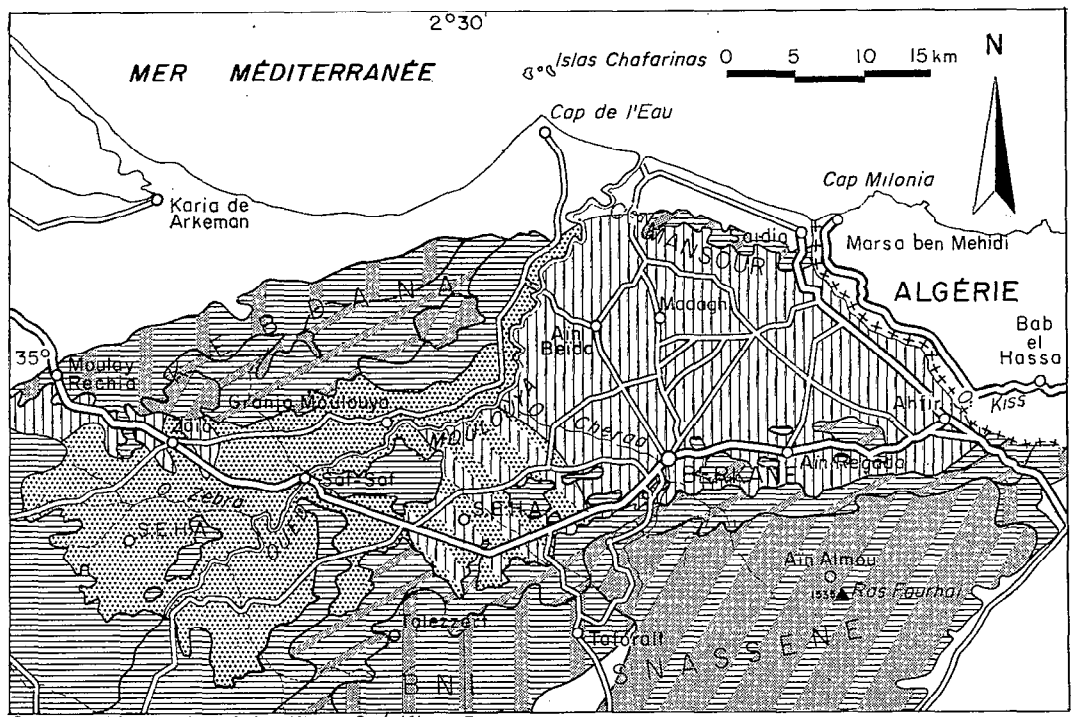


FIG. 27. — Répartition schématique des sols à horizon Aca non ou peu calcaire, argileux et rouge, dans les plaines de la Basse Moulouya, par rapport aux sols des massifs montagneux.

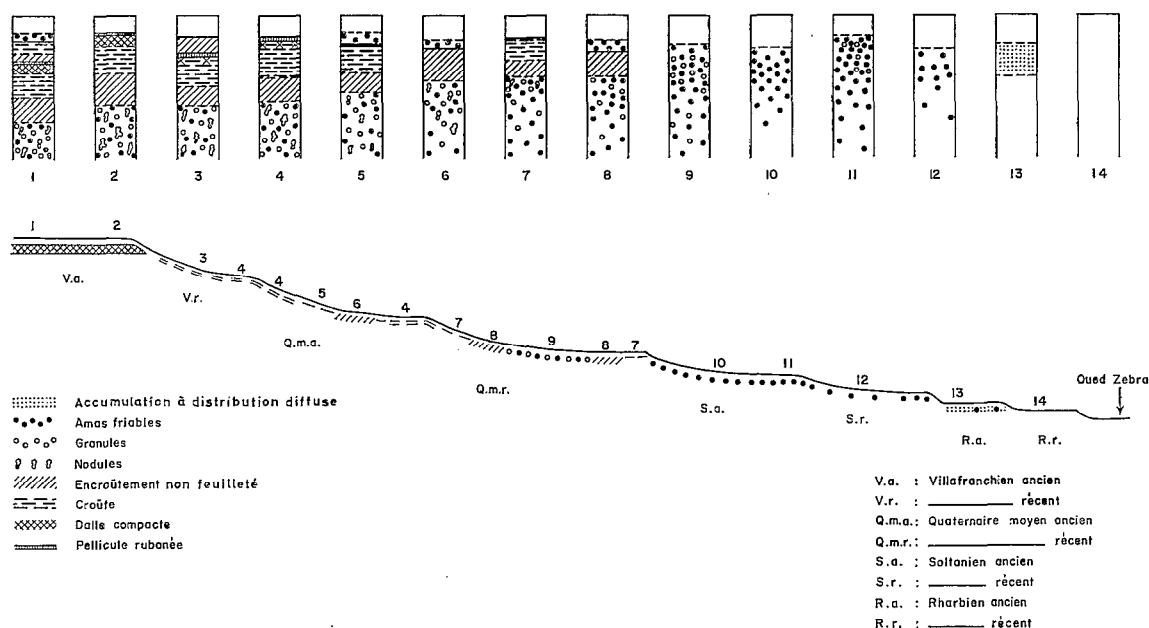


FIG. 28. — Morphologie de l'horizon Bca dans les sols situés sur les terrasses quaternaires de l'oued Zebra. (Longueur de la coupe : quelques centaines de mètres ; différence d'altitude entre V.a. et R.r. : quelques dizaines de mètres.)

- Deux très basses terrasses que j'appellerai ici Rharbien récent et ancien <sup>1</sup>.
- Deux basses terrasses : Soltanien récent et ancien.
- Deux terrasses moyennes : Quaternaire moyen récent et ancien.
- Deux hautes terrasses : Villafranchien récent et ancien.

a. *Le Rharbien récent* : il est situé presque au niveau de l'oued, et sa construction se poursuit encore actuellement à chaque grosse crue. Les sols que l'on y trouve sont à profil calcaire non différencié (voir fiche de profil n° 1) :

— Les matériaux sont souvent, dans un même sol, très hétérogènes et les profils calcaires et argileux sont alors irréguliers, en dents de scie. Mais quand on se trouve dans une zone d'alluvions homogènes, on constate que les sols sont uniformément calcaires et argileux.

— Sur ces niveaux, plus souvent mouillés que ceux qui les dominent, la couverture végétale, herbeuse et arbustive, est assez dense d'une façon presque permanente et l'on constate que la couleur des horizons de surface est en moyenne plus foncée que celle des sols de l'ensemble de la région : 4/4.

— La structure est peu développée et uniquement dans les horizons supérieurs. Les éléments coprogènes sont cependant en quantités importantes, même dans les niveaux inférieurs où la structure massive, continue, est dominante.

— Les teneurs en matière organique ne sont pas pour autant plus élevées en surface que celles que l'on connaît habituellement. Mais la répartition en profondeur est différente : elle est très isohumique, voire même irrégulière ; de fortes teneurs (1%) peuvent se maintenir jusqu'à plus d'un mètre et les changements brutaux de texture s'accompagnent quelquefois d'une augmentation de la richesse organique. Tout ceci est typique d'un sol fréquemment enfoui sous de nouveaux dépôts sur lesquels il se reconstitue, assez rapidement semble-t-il.

1. Je préfère, dans ce paragraphe, adopter les adjectifs « récent » et « ancien » plutôt que « supérieur » et « inférieur » qui prêteraient à confusion : en stratigraphie, le niveau le plus ancien d'un étage est qualifié d'inférieur, mais dans une zone d'emboîtement ce niveau inférieur constitue une terrasse supérieure au niveau stratigraphiquement supérieur.

— La salure et l'alcalisation sodique sont toujours faibles ; par contre, l'alcalisation magnésienne (Mg et  $\text{CO}^3 \text{ Mg}$ ) est fréquente.

— Enfin ces sols contiennent déjà de l'attapulgit (30-40% de la fraction argileuse non calcaire) ; mais en général, uniquement en profondeur, au-delà de 50 cm environ.

b. *Le Rharbien ancien* : les sols y sont déjà nettement mieux différenciés (voir fiche de profil n° 8).

— Les horizons de surface sont un peu moins riches en calcaire que les horizons C, et en profondeur une accumulation diffuse peut exister, accompagnée ou non de quelques amas calcaires. Souvent, on ne constate qu'une légère augmentation progressive des teneurs en calcaire, sans « ventre ». Les sols sont donc à profil calcaire peu différencié.

— Le profil textural argileux présente soit un « ventre » d'accumulation, peu accentué mais net, soit seulement un horizon At plus pauvre en argile que le C. Dans l'ensemble, la texture des matériaux est plus homogène.

— La couleur des horizons de surface est celle de l'ensemble de la région : très claire ; et le profil organique se rapproche aussi de ce qu'il est en moyenne dans l'ensemble de cette zone aride du Zebra (chap. 3, § I-A). En profondeur il n'y a aucune rubéfaction mesurable.

— Le profil structural est celui que j'ai défini pour les sols à profil calcaire peu différencié (chap. 2, § IV-B-1).

— Salure et alcalisation sont identiques à celles des sols sur Rharbien récent. L'alcalisation magnésienne est cependant plus fréquente.

— Les teneurs en attapulgit sont également les mêmes, mais apparaissent dans le profil à des profondeurs moins grandes.

c. *Le Soltanien* : sur ces terrasses, tous les sols sont à profil calcaire moyennement différencié (voir fiches de profils nos 9 et 10) :

— Les horizons Aca restent fortement calcaires : l'appauvrissement noté dans les sols de la terrasse précédente ne s'accroît pas et il en sera de même jusqu'aux plus hauts niveaux.

— Les horizons Bca ne sont jamais très développés : ils sont à amas sur le niveau récent (fiche de profil n° 9) à amas plus nombreux et fréquemment accompagnés de granules sur le niveau ancien (fiche de profil n° 10). Mais, à part quelques exceptions dues à des positions topographiques très favorables (rebords de terrasses à texture très grossière, par exemple), les nodules sont rares et il n'y a presque jamais d'encroûtements. La teneur maximum en calcaire se situe le plus souvent entre 30 et 40%.

— Le profil textural argileux est bien développé, surtout dans les sols du niveau ancien où la rubéfaction des horizons B, encore assez discrète sur le Soltanien récent, devient nette.

— La structure des horizons B est encore assez grossière sur le niveau récent ; elle est, par contre, finement polyédrique à facettes lissées, bien développée, sur le niveau ancien.

— La salure et l'alcalisation sodiques, généralement absentes du niveau récent, peuvent être très développées sur le niveau ancien où, par ailleurs, l'attapulgit apparaît presque dès la surface.

En somme, c'est sur les terrasses du Soltanien ancien que l'on trouve, pour la première fois, le sol caractéristique, considéré comme modal, de la plaine aride du Zebra : sol à profil calcaire moyennement différencié, à Bca simple, à amas et parfois granules, calcaire dès la surface, à At très clair ; le profil argileux est bien différencié ; l'horizon B est rubéfié, bien structuré ; salure et alcalisation sont importantes dès quelques dizaines de centimètres de profondeur ; l'attapulgit est présente presque dès la surface.

d. *La terrasse récente du Quaternaire moyen* : le passage à ce niveau, quand on vient de la terrasse située juste au-dessous, s'accompagne d'une modification importante des sols, principalement des profils calcaires. En effet :

— Les formes de concentration discontinue du calcaire, presque toujours absentes des dépôts quaternaires récents, se généralisent sur toute l'épaisseur des formations du Quaternaire moyen.

— Dans les horizons Bca des sols à profil calcaire moyennement différencié, les teneurs atteignent et dépassent souvent 40% et l'individualisation du calcaire est importante : amas, granules et nodules sont abondants.

— Les sols à profil calcaire moyennement différencié sont étroitement associés à des sols à profil calcaire très différencié : ce niveau est en effet celui de l'apparition des encroûtements calcaires en un certain nombre de points où les conditions texturales et surtout topographiques (qui seront décrites dans le § C suivant) leur sont favorables. Ces encroûtements ne sont cependant jamais très développés : il s'agit le plus souvent, de sols à encroûtement non feuilleté ou de sols à croûte tendre et peu épaisse (10 à 30 cm de croûte sur 10 à 30 cm d'encroûtement massif ou nodulaire).

— Dans certaines positions topographiques (voir le § C suivant), on passe à des sols dont l'horizon Bca est double, avec ou sans encroûtement.

— Enfin, il faut encore souligner que cette accentuation de l'importance de l'horizon Bca n'est accompagnée d'aucune diminution des teneurs en calcaire des horizons de surface : la tendance serait même plutôt dans l'autre sens.

Pour ce qui est des autres caractéristiques des sols, il n'y a guère de modifications importantes, si ce n'est la généralisation des phénomènes de salure et d'alcalisation dans les horizons B et C et le développement de l'attapulгите qui apparaît dès la surface et atteint près de 100% de la fraction argileuse dans les encroûtements.

e. *La terrasse ancienne du Quaternaire moyen* : cette terrasse est en général plus fréquente, plus importante, que la précédente. Pour ce qui est des sols, elle est surtout marquée par le développement des encroûtements qui couvrent des surfaces proportionnellement plus importantes et qui deviennent plus épais et plus durs. Des ébauches de dalles compactes peuvent apparaître.

f. *Le Villafranchien récent* : ce niveau est celui de la disparition des sols sans encroûtement et même des sols où l'encroûtement se limite à un horizon non feuilleté. Tous les sols sont à croûte durcie dont les premiers centimètres sont fréquemment de la dalle compacte. Les horizons Bca doubles sont assez fréquents et, dans certaines conditions topographiques, on voit même apparaître des encroûtements doubles.

g. *Le Villafranchien ancien* : c'est le niveau le plus élevé, celui des grands glacis déjà cités à plusieurs reprises. Les encroûtements calcaires y sont généralisés et puissants : leur épaisseur atteint et dépasse fréquemment le mètre et la dalle compacte est presque toujours présente. Au-dessus, un encroûtement plus faible, de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur (encroûtement non feuilleté ou croûte sur encroûtement non feuilleté), est souvent présent, précédé éventuellement d'un horizon à amas ou granules : c'est l'horizon Bca triple (fiche de profil n° 29).

## 2. Les particularités des Triffa.

On retrouve dans la plaine des Triffa l'essentiel de la succession décrite dans le Zebra. Quelques différences, qui se manifestent surtout au centre et à l'est, sont cependant remarquables et importantes.

Si l'on étudie par exemple les terrasses de l'oued Kiss ou celles de l'oued Cheraa, on est amené à noter, comparativement au Zebra, les observations suivantes :

a. Sur les terrasses du Rharbien récent, les sols sont voisins de ceux du Zebra. On relève cependant trois différences majeures (fiche de profil n° 3) :

- Certains sols ou certains horizons peuvent être peu calcaires : autour de 5%.
- Les couleurs des horizons de surface sont assez sombres : entre 3,5/3,5 et 4/4.
- Il n'y a pas d'attapulгите.

b. Sur les terrasses du Rharbien ancien, les sols sont mieux différenciés que ceux du Zebra :

— Le profil calcaire est plus accentué : l'horizon Bca contient souvent quelques amas et surtout l'horizon Aca est nettement moins calcaire que le Bca.



— Le profil textural argileux est bien différencié, mais les textures restent, dans l'ensemble du sol, limoneuses ou limono-argileuses.

— A l'est, les couleurs des horizons de surface sont sombres : 3,5/3,5 ou moins ; mais la couleur dominante est brun-rouge, 5 ou 7,5 YR.

— Il n'y a toujours pas d'attapulгите.

c. Quand on passe des terrasses rharbiennes aux terrasses soltaniennes, le changement pédologique est souvent important : on peut, en effet, voir apparaître brusquement des sols dont les horizons Aca sont non calcaires, argileux et rouges (2,5 YR) ; ce sont des sols châtaîns, alors que sur les basses terrasses rharbiennes on avait des sols bruns, généralement calcaires dès la surface. Cependant, il y a également des terrasses soltaniennes dont les sols sont calcaires dès la surface comme ceux du Zebra.

d. A partir du Soltanien jusqu'au Villafranchien, tout en conservant selon les lieux, soit des horizons Aca non calcaires, argileux et rouges, soit au contraire des horizons calcaires et brun-rouge, la succession des sols, jugée d'après le développement des horizons Bca, est la même que dans le Zebra. Il faut toutefois se souvenir de quelques nuances significatives :

— Pour un même niveau, l'horizon Bca apparaît toujours mieux développé dans les Triffa que dans le Zebra : épaisseur plus grande, teneur en calcaire plus élevée, amas ou nodules plus nombreux et plus durs, etc.

— L'alcalisation magnésienne existe dès le Rharbien ; par contre, il n'y a pratiquement jamais, jusqu'au Villafranchien, ni salure, ni alcalisation sodique.

— A tous les niveaux, les minéraux argileux sont plus altérés dans les Triffa que dans le Zebra, mais on ne saisit pas de modifications notables d'un niveau à l'autre. Par ailleurs, ce n'est qu'à partir des niveaux soltaniens que l'on voit apparaître l'attapulгите, et uniquement dans les horizons Bca et C ; d'abord en petites quantités puis, dans le Quaternaire moyen, en proportions identiques à celles connues dans le Zebra.

### 3. Conclusion : différenciation des sols et âge des niveaux emboîtés.

L'ensemble des faits rapportés dans les paragraphes précédents sont, en Basse Moulouya, très généraux ; on les retrouve avec plus ou moins de détails sur d'autres systèmes de formes emboîtées, des glacis ou des cônes par exemple.

Si l'on admet que le façonnement de chaque niveau a commencé à une époque d'autant plus reculée qu'il est plus élevé, et qu'il en est de même pour le développement des sols que l'on y voit aujourd'hui, on doit essentiellement retenir de l'exposé qui précède, les faits suivants :

a. L'accumulation du calcaire s'accroît progressivement avec l'âge des niveaux.

b. Cette accumulation n'est pas accompagnée d'un appauvrissement progressif en calcaire des horizons Aca :

— Dans le Zebra, dès le niveau du Rharbien ancien, l'horizon Aca est un peu moins calcaire que l'horizon C, mais le phénomène ne s'accroît pas dans les sols des terrasses plus anciennes.

— Dans les Triffa, l'appauvrissement des sols du Rharbien ancien est plus important ; puis, selon les lieux, deux cas sont possibles : comme dans le Zebra, les sols restent calcaires dès la surface sans que le phénomène s'accroît avec l'âge des niveaux, la teneur en calcaire étant cependant toujours plus faible que dans le Zebra (généralement moins de 10%) ; ou bien, on passe brutalement, dès le Soltanien, aux sols profondément non calcaires, argileux et rouges.

c. Le profil textural argileux se différencie assez nettement dès le Rharbien ancien. Il atteint son développement maximum sur les terrasses du Soltanien ancien.

d. C'est également à partir du Soltanien ancien que le profil structural est bien différencié, que la rubéfaction des horizons B est nette, que la salure et l'alcalisation sodique se développent dans les horizons B et C des sols du Zebra.

e. Le profil organique, la couleur des horizons de surface et la structure de ces horizons, données qui varient d'une zone climatique à l'autre, existent dès les sols du Rharbien ancien et ne se modifient pas sur les niveaux supérieurs.

f. Enfin, l'attapulгите se développe nettement en fonction de l'âge des surfaces : on la voit d'abord envahir progressivement la totalité des sols (Zebra) ou seulement les horizons inférieurs (Triffa), puis devenir le minéral argileux largement majoritaire au niveau des encroûtements.

### C. La topographie de détail.

Les transformations progressives ou rapides des caractères pédologiques en fonction du relief de détail sont, en Basse Moulouya, très nettes : ceci facilite beaucoup les travaux de cartographie, à condition cependant de travailler à des échelles assez grandes : de très faibles modifications du relief peuvent en effet être accompagnées de changements importants et rapides dans la morphologie de certains horizons, et seules des cartes détaillées, au 1/5 000 par exemple, peuvent en figurer l'essentiel.

Les modifications principales concernent, une fois de plus, le profil calcaire de ces sols, et c'est par cet aspect qu'il faut en commencer l'analyse.

#### 1. Le profil calcaire.

Trois aspects de ce profil se modifient en fonction du relief.

a. *La morphologie et l'importance de l'horizon Bca* sont très sensibles à toutes les variations du microrelief :

— Sur les terrasses, ou les glacis bien délimités, l'accumulation du calcaire s'accroît partout où la circulation des eaux est importante et peut être suivie d'un assèchement rapide :

Sur les niveaux du Rharbien ancien, la concentration du calcaire en amas, accompagnée ou non d'une légère augmentation des teneurs en calcaire, n'est vraiment visible que le long de quelques axes de circulation préférentielle des eaux et sur les rebords de terrasses et de glacis.

Sur les surfaces du Soltanien ancien, de petits encroûtements peuvent se développer sur le rebord des niveaux : les nodules y sont également plus fréquents.

Sur les niveaux du Quaternaire moyen, les nombreux passages latéraux que l'on peut observer entre les diverses formes d'accumulation du calcaire, dépendent des situations topographiques ; c'est ce que j'ai schématisé sur la figure 7 (chap. 2, § I) : l'accumulation du calcaire est toujours maximum sur la pente de raccordement avec le niveau supérieur et sur le rebord des niveaux ; elle est minimum au milieu de la terrasse ou du glacis où l'eau circule moins vite et où les assèchements importants sont plus rares. Il faut néanmoins souligner que ces variations sont plus ou moins fortes et que ces maximums d'accumulation peuvent n'être qu'un encroûtement non feuilleté ou un horizon à nodules.

— Sur les formes polygéniques, les petites variations du relief correspondent, souvent, à des zones d'érosion et d'accumulation plus ou moins anciennes : une surface couverte de sols encroûtés peut avoir été entaillée par un ravinement puis recombée par une formation plus récente ; elle peut aussi avoir été recouverte, dans une zone de piémont, par un cône d'accumulation plus jeune : au sein de ces formations, l'horizon Bca des sols est toujours moins développé que celui de la surface encroûtée érodée ou enfouie.

— Sur les surfaces à peu près régulières, on note souvent que les bosses du micro-relief correspondent à des horizons Bca plus importants.

Au total, il faut donc retenir que les variations des horizons Bca en fonction du relief apparaissent tantôt comme étant directes, tantôt comme n'étant que l'expression du développement du profil calcaire sur des formations d'âges variés et qui s'emboîtent ou se superposent. C'est ce que j'ai résumé par les schémas de la figure 29.

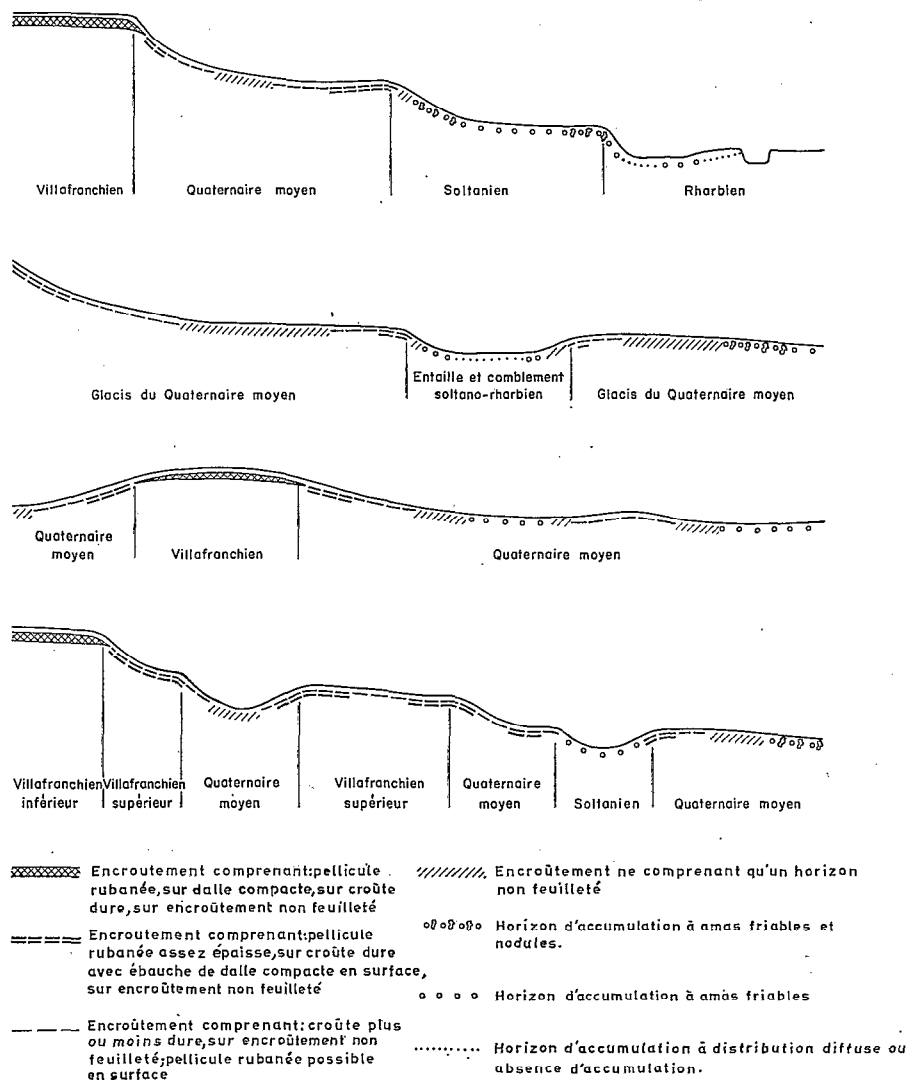


FIG. 29. — Quelques exemples de la répartition des divers types d'horizon Bca en fonction du relief.

Il faut aussi retenir de cette description, le danger qu'il peut y avoir à essayer de dater des surfaces par une observation trop localisée des sols : une même surface peut porter des sols dont les différenciations sont diverses.

b. Les horizons Bca doubles et triples sont des cas un peu particuliers, mais fréquents, de l'accumulation du calcaire et dont la répartition apparaît étroitement liée au relief de détail.

Rappelons qu'un horizon Bca double ou triple est fait de la superposition, avec limite tranchée, de deux ou trois horizons d'accumulation dont le supérieur est nettement moins puissant que celui qu'il surmonte, le tout donnant à penser que l'on est en présence de deux ou trois cycles successifs d'accumulation du calcaire.

L'observation du développement des horizons doubles ou triples en fonction des situations topographiques, permet d'argumenter cette « impression » qui sera discutée en troisième partie. Plusieurs exemples en sont présentés sur les figures 30, 31 et 32 ; on peut y voir que deux cas principaux sont possibles :

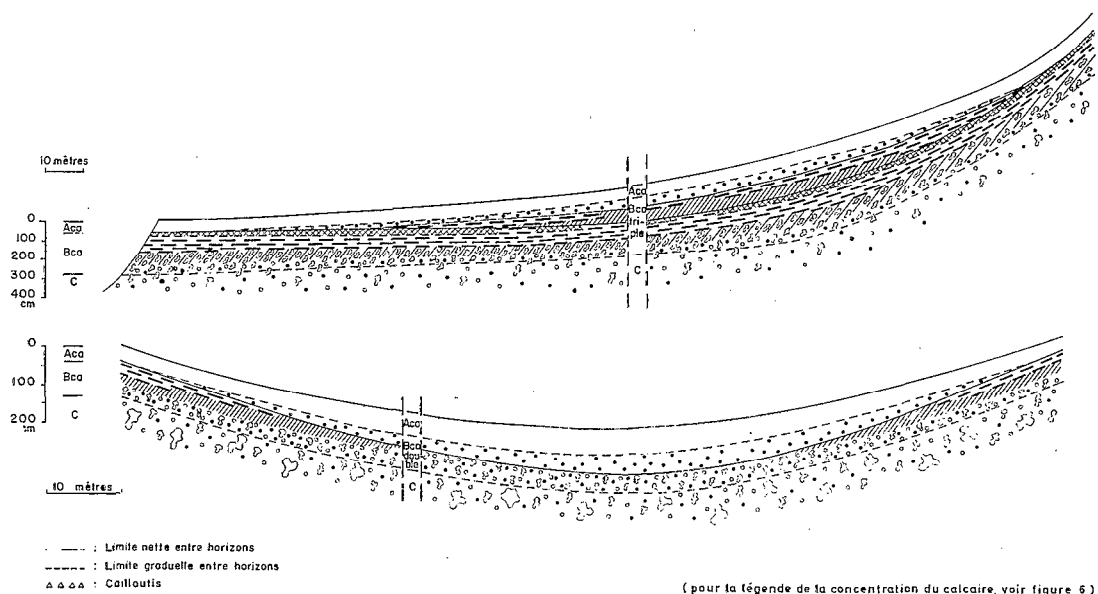


FIG. 30. — Superposition des horizons Bca sur un glaciaire du Quaternaire ancien et dans une dépression du Quaternaire moyen

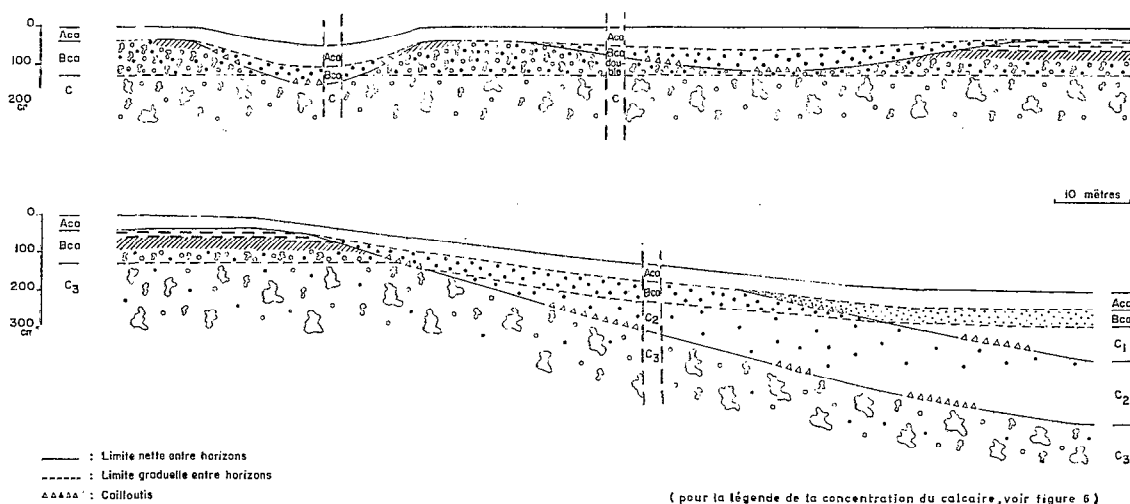


FIG. 31. — Superposition des horizons Bca et C sur un glaciaire polygénique.

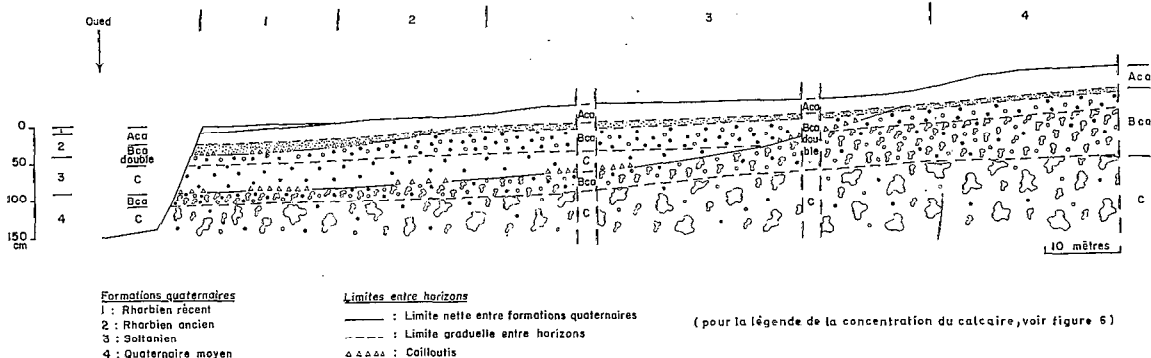


FIG. 32. — Superposition des horizons Bca et C en bordure d'un oued de faible importance.

— développement dans un horizon Aca, plus ou moins épaissi par des phénomènes de colluvionnement, d'une nouvelle accumulation de calcaire ;

— formation dans un matériau superposé à un sol qui a été préalablement plus ou moins tronqué par l'érosion, d'un nouveau profil calcaire.

Notons que ces observations sont en faveur de l'hypothèse d'un développement des horizons Bca en fonction de l'augmentation de l'âge des matériaux et des sols.

c. *L'épaisseur des horizons Aca* se modifie en fonction des situations topographiques : augmentation dans les bas-fonds et les zones de piémont ; diminution sur les pentes, les buttes et les rebords de terrasses (fig. 33). Cette répartition est particulièrement nette dans les secteurs où la majorité des sols sont à horizon Aca non calcaire. Mais il faut aussi noter que des variations sensibles (10 à 40 cm) et assez rapides (en l'espace de quelques mètres) de l'épaisseur de l'horizon Aca, peuvent exister dans des zones très planes : c'est le cas de la cuvette des Triffa où on voit assez souvent la profondeur de l'horizon Bca augmenter quand sa puissance diminue.

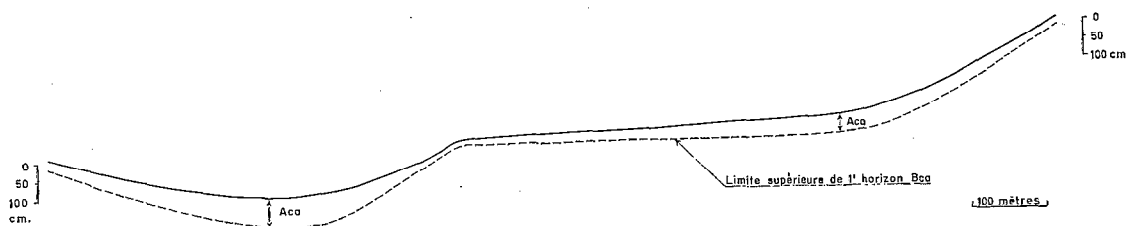


FIG. 33. — Épaisseur de l'horizon Aca en fonction des positions topographiques.

Il n'y a, par contre, aucune corrélation entre la teneur en calcaire de l'Aca et le relief de détail : en particulier, dans les zones où tous les sols sont calcaires dès la surface, le centre de la plaine du Zebra par exemple, les horizons Aca des sols situés dans les bas-fonds, où l'approvisionnement en eau superficielle est plus importante (ruissellement), ne sont pas plus pauvres en calcaire que ceux des sols situés sur les versants ou les glacis.

## 2. Le profil textural.

La variation des profils texturaux en fonction du relief de détail est en fait une conséquence de la répartition des matériaux en fonction de ce relief : cette répartition concerne la texture globale et l'âge de la mise en place.

Les faits saillants sont les suivants :

- Sur un glacis ou une terrasse, les textures sont plus grossières dans la zone de piémont ou sur le bord de la terrasse.
- Les teneurs en argile sont plus faibles sur les terrasses, essentiellement alluviales, que sur les glacis et les cônes où les colluvions dominent.
- Sur un glacis polygénique, les cailloutis sont plus fréquents dans les vallons.
- Dans ces vallons, où les phénomènes d'érosion et d'accumulation se poursuivent à chaque forte pluie, les profils texturaux sont souvent très irréguliers ou peu différenciés. Mais on y note aussi des sols dans lesquels les teneurs en argile augmentent progressivement avec la profondeur (fiche de profil n° 5).

### 3. *Les autres caractères des sols.*

Seuls quelques faits sont encore à souligner :

- a. Dans les bas-fonds, où l'humidité est ordinairement plus élevée, les sols sont quelquefois, comme sur les basses terrasses, de couleur plus sombre et les éléments coprogènes y sont plus nombreux. Par ailleurs, dans ceux où les phénomènes d'érosion et d'accumulation se poursuivent au moment des grosses pluies, les teneurs en matière organique sont réparties plus profondément et souvent irrégulièrement (voir fiches de profils n°s 2, 4, 6).
- b. Si, dans les sols des bas-fonds, le calcaire n'est pas moins abondant dans les horizons de surface, il n'en est pas de même pour les sels et le sodium : dans la plaine du Zebra, les salures, jusqu'à plus de 150 cm de profondeur, y sont inférieures à 1-1,5‰ et les teneurs en sodium sur le complexe adsorbant inférieures à 5%. Par contre, salure et alcalisation, sodique et magnésienne, sont toujours mieux développées partout où la topographie favorise l'accumulation du calcaire : rebords de terrasses, buttes, pentes, etc.
- c. L'apparition de l'attapulгите dans les sols se fait plus profondément dans les zones déprimées, les axes de drainage en particulier.
- d. Dans la zone de Madagh, ancien marécage partiellement drainé pour la mise en valeur, la circulation des eaux, superficielles et profondes, est ralentie et la nappe phréatique est proche de la surface ; elle affleure encore certaines années. Des sols à pseudo-gley et à caractères vertiques y couvrent de petites surfaces ; on en trouve également un peu dans certaines dépressions des Ouled Mansour.

## III. LA RÉPARTITION DES SOLS EN FONCTION DE L'OCCUPATION ET DE L'UTILISATION ACTUELLE

Dans ces plaines où l'intensité de l'utilisation actuelle des sols par l'homme est très variable selon les secteurs, on peut distinguer trois types principaux d'occupation :

- Les surfaces actuellement non cultivées mais seulement pâturées par des troupeaux de moutons et de chèvres. Il s'agit soit de dépressions où quelques formations assez denses de jujubiers ont subsisté, soit de zones à sols très encroûtés où tout labour est gêné par la grande richesse en cailloux des horizons Aca : elles sont couvertes de steppes à armoises.

— Les surfaces cultivées en sec (céréales), soit d'une façon intensive, soit, beaucoup plus souvent, selon des méthodes traditionnelles très extensives<sup>1</sup> : ce sont principalement les sols de ces surfaces qui ont été décrits tout au cours de cette première partie.

— Les surfaces irriguées.

#### A. Les surfaces non cultivées.

1. Dans les zones semi-arides, les surfaces non cultivées sont rares. On y constate, par rapport aux sols cultivés, quelques différences importantes dans les horizons de surface :

— Couleur plus sombre.

— Structure plus développée, plus fine, plus arrondie.

— Augmentation sensible des teneurs en matière organique : il s'ensuit que la courbe de répartition en profondeur est plus accentuée, se rapproche de la courbe 1 (fig. 21, chap. III, § I).

2. Dans les secteurs arides, comme la plaine du Zebra, la comparaison entre ces sols non cultivés, mais pâturés, et ceux qui sont cultivés en sec selon des méthodes extensives, permet les observations suivantes :

— La surface est un peu moins calcaire : dans les sols cultivés, le grattage du sol à l'araire ou au covercrop est suffisant pour ramener vers le haut, des horizons un peu plus calcaires.

— Les 5 à 10 premiers centimètres sont un peu plus riches en éléments fins, en argile surtout.

— Dans les bas-fonds où le jujubier est bien développé, la couleur des 5 à 10 premiers centimètres du sol est plus foncée : valeur et chroma se situent vers 4/4 et, au pied des jujubiers, ils se rapprochent de 3,5/3,5.

— Si le pâturage n'est pas trop fréquent, la structure lamellaire de surface (glaçage) est moins développée ; dans les 5 à 10 premiers centimètres la structure est mieux formée, et sa stabilité est meilleure. Il n'y a, bien sûr, pas de semelle de labour, qui est d'ailleurs rarement bien apparente dans les sols cultivés.

— La richesse en matière organique est toujours plus élevée : c'est dans ces sols non cultivés que les teneurs dépassent fréquemment 3% en surface. Par ailleurs la forme de la courbe de répartition de la matière organique en profondeur est en général un peu moins accentuée : elle se place entre les courbes 1 et 3 de la figure 21, la culture en sec étant en somme accompagnée d'une augmentation relative des teneurs en carbone dans les horizons labourés de surface par rapport aux horizons profonds. Ce fait doit être rapproché de l'observation de l'enracinement des céréales : la plus grande partie du système racinaire ne dépasse pas la profondeur du labour.

— Dans ces sols mieux structurés en surface, moins « glacés », d'où la semelle de labour est absente, la pénétration des eaux de pluie est meilleure ; le ruissellement et l'érosion sont moins développés.

#### B. Les surfaces irriguées.

Depuis une dizaine d'années, l'étude de l'évolution des sols sous irrigation est un des objectifs principaux de mon programme de travail au Maroc ; cette étude a été plus particulièrement approfondie en Basse Moulouya où les observations que j'ai pu faire sur l'état des sols irrigués, depuis des époques variées et avec des méthodes diverses, ont été suivies de la mise en place de plusieurs parcelles expérimentales (RUELLAN, 1964 b, c ; 1965 b).

1. La préparation du sol est réduite au strict minimum : semis à la volée suivi d'un labour peu profond (5 à 10 cm) fait à l'araire ou au cover-crop. La densité du semis est faible : 60 kg/ha. Les rendements ne dépassent pas quelques quintaux de blé dur ou d'orge par hectare ; quand la récolte est trop faible, elle n'est pas ramassée mais pâturée. Après la moisson, les chaumes sont pâturés.

Ce sujet sort du cadre de ce travail, mais il est cependant bon de souligner que l'irrigation provoque dans ces sols, en quelques années, des modifications dont on commence à entrevoir toute l'importance : ceci ne peut étonner quand on sait que cette irrigation correspond à des apports annuels de 1 000 à 1 500 mm fournis principalement au printemps et en été. Dans les horizons de surface, les structures se détruisent, les compacités augmentent, les couleurs noircissent, les sels s'accumulent, le complexe adsorbant se transforme, les minéraux argileux se dégradent ; en profondeur, l'activité biologique se développe. Ce sont là les transformations majeures aisément observables : elles sont certainement accompagnées de toute une série de processus plus discrets dont les effets se feront sentir dans l'avenir.



*Deuxième partie*

---

**LA PLACE DES SOLS  
A PROFIL CALCAIRE DIFFÉRENCIÉ  
DES PLAINES DE LA BASSE MOULOUYA  
DANS L'ENSEMBLE PÉDOLOGIQUE  
MAROCAIN**

---

## Les sols des montagnes de la Basse Moulouya comparés à ceux des plaines

Les trois chapitres précédents ont permis de caractériser, dans les plaines de la Basse Moulouya, un certain nombre de types de différenciation pédologique, définis en premier lieu par leur profil calcaire. Ces types ont été situés les uns par rapport aux autres, puis en fonction des principaux éléments du milieu.

Le domaine de cette étude doit maintenant être élargi ; il faut faire ressortir l'importance de ces sols dans l'ensemble du Maroc, et les situer par rapport aux autres types de différenciation pédologique qui se développent dans ce pays. Ceci conduira à une nouvelle approche des mécanismes et de leur signification et permettra de préciser les bases d'une nouvelle classification des sols situés au Maroc, et surtout de ceux à profil calcaire différencié.

Cette étude sera conduite en deux étapes :

— Les sols des plaines de la Basse Moulouya seront d'abord comparés à ceux des massifs montagneux de la région : c'est l'objet du présent chapitre. Des rapprochements importants s'imposeront et les liens qui unissent ces deux domaines ressortiront mieux.

— Je m'éloignerai ensuite, dans le chapitre 6, de la Basse Moulouya, pour situer les sols de cette région par rapport à l'ensemble du Maroc où la variété considérable des climats, des roches et des reliefs est accompagnée d'un développement très nuancé des caractères pédologiques.

Dans le cadre de la classification d'AUBERT (1965 a et b), la majorité des sols des Bni Snassène et des Kebdana appartiennent aux catégories suivantes :

— Classe I des sols minéraux bruts ; sous-classe des sols d'origine non climatique ; groupe des sols d'érosion : lithosols et régosols.

— Classe II des sols peu évolués :

sous-classe des sols d'origine climatique ; groupe des rankers ;

sous-classe des sols d'origine non climatique ; groupe des sols peu évolués d'érosion et d'apport.

— Classe III des sols calcomagnésimorphes ; sous-classe des sols rendziniformes ; groupe des rendzines à horizons.

— Classe V des sols isohumiques ; sous-classe des sols subtropicaux ; groupes des sols châtaîns et des sols bruns.

— Classe VIII des sols fersiallitiques ; sous-classe des sols rouges et bruns méditerranéens.

Les sols fersiallitiques étant les plus fréquents et les plus caractéristiques de ces zones montagneuses, il est commode de commencer par eux cette étude comparative des sols de la montagne et de la plaine.

## I. LES SOLS FERSIALLITQUES, ROUGES MÉDITERRANÉENS, SUR CALCAIRES ET DOLOMIES COMPACTS

Mis à part le contexte karstique, les sols rouges méditerranéens sur calcaires et dolomies compacts, souvent dénommés « Terra Rossa », sont très similaires de certains sols châtaîns de la plaine des Triffa, c'est-à-dire des sols à profil calcaire moyennement différencié, à amas et nodules, à horizon Aca non calcaire et à horizon At sombre : ce sont les sols châtaîns situés dans les zones les moins arides des Triffa (voir fiches de profils n<sup>os</sup> 31 à 33).

1. *Les profils calcaires* sont peu différents. Sous l'horizon Aca non calcaire, les sols rouges présentent, presque toujours, une accumulation importante de calcaire. C'est un horizon Bca à amas friables, granules et nodules, pouvant localement se transformer en encroûtement. Les nodules atteignent souvent de grandes dimensions : jusqu'à plus de 15 cm de diamètre. Il n'y a cependant jamais de croûte ; seulement, parfois, une pellicule de dalle, de quelques millimètres d'épaisseur, se développe à la surface du calcaire ou de la dolomie compacte.

La profondeur moyenne du sommet de cette accumulation augmente assez sensiblement quand on va du semi-aride vers le subhumide ; on ne la voit cependant pas disparaître du sol pour donner comme dans les régions plus humides du Moyen-Atlas ou du Liban, des sols rouges entièrement décarbonatés. Par contre, en allant vers les zones arides, l'épaisseur non calcaire de l'horizon Aca diminue ; au-dessous de 400-450 mm de précipitations annuelles, les sols sur calcaires ou dolomies compacts sont toujours calcaires dès la surface : on passe aux sols calcomagnésimorphes qui, nous le verrons, sont en fait des sols à profil calcaire différencié très voisins des sols bruns de la plaine. De même, dans toutes les zones climatiques, on passe aux sols calcomagnésimorphes dès que les calcaires deviennent plus tendres (il s'agit alors de faciès plus marneux).

Sur dolomie, l'accumulation des carbonates est partiellement dolomitique ; en altitude, il y a même des horizons ne contenant que de la dolomite (voir profil n<sup>o</sup> 3-5-68-1, fiche n<sup>o</sup> 33).

La différence majeure entre ces sols rouges et les sols châtaîns est l'existence d'une vraie roche-mère : c'est le calcaire ou la dolomie, nettement séparé du sol, mais qui se trouve en contact

presque direct avec tous les horizons. A noter également que l'horizon C peut se poursuivre très profondément : c'est le « niveau souterrain » défini par LAMOUREUX (1967).

2. *Les profils texturaux argileux* sont tout à fait identiques et les textures globales ne se distinguent que par la présence des cailloux de calcaire ou de dolomie dans les horizons A et l'absence de graviers de pélites. L'étude micromorphologique de quelques échantillons confirme ces similitudes.

3. *Les couleurs rouges*, qui dominent la totalité des profils, sont les mêmes. La couleur des horizons de surface est cependant toujours plus foncée en montagne que dans la plaine : ce sont partout des mollisols (U.S.D.A., 1967). A basse altitude, dans les zones semi-arides, la couleur est sombre sur toute l'épaisseur de l'horizon Aca (voir, par exemple, le profil n° 3-5-68-6, fiche n° 31) ;

TABLEAU XIV. Teneur en calcaire et dolomite de quelques roches calcaires, dolomitiques et gréseuses compactes des Bni Snassène

Etages	Echantillons n°s	Dénomination des roches <sup>1</sup>	CO <sub>3</sub> Ca %	(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca Mg %	Total %	Résidu non calc. %
Lias	3-5-68-6-I	Calcaire	82,5	4,6	87,1	12,9
	22-3-64-2-B	Calcaire magnésien	91,7	6,3	98,0	2,0
	23-9-63-I	Calcaire magnésien	92,5	7,4	99,9	0,1
	22-5-64-3-B	Calcaire dolomitique	89,5	11,5	101,0	
	22-3-64-2-A	Calcaire dolomitique	82,5	12,5	95,0	5,0
	22-3-64-2-E	Calcaire dolomitique	74,4	17,5	91,9	8,1
	22-5-64-3-B	Calcaire dolomitique	79,2	19,8	99,0	1,0
	1-5-64-1-A	Calcaire dolomitique	80,0	21,2	101,2	
	28-10-63-9-A	Dolomie calcaire	10,4	79,5	89,9	10,1
	3-5-68-3-G	Dolomie calcaire	12,4	88,0	100,4	
	22-5-64-6-A	Dolomie calcaire	11,9	89,5	101,4	
	22-1-64-1-B	Dolomie	3,3	96,0	99,3	0,7
	22-1-64-2-A	Dolomie	0,2	99,0	99,2	0,8
	3-5-68-1-E	Dolomie		99,5	99,5	0,5
	30-4-68-6-I	Dolomie		101,8	101,8	
	26-9-63-7-A	Dolomie		102,0	102,0	
Malm	14-1-64-9-A	Calcaire magnésien	87,9	5,4	93,3	6,7
	14-1-64-12-A	Calcaire magnésien	90,6	5,6	96,2	3,9
	6-1-64-1-A	Calcaire dolomitique	80,0	12,7	92,7	8,3
	6-1-64-2-A	Grès dolomitique	2,8	55,9	58,7	41,3
	6-1-64-3-A	Grès dolomitique	1,0	54,1	55,1	44,9
	14-1-64-4-A	Grès dolomitique	4,5	45,6	50,1	49,9
	14-1-64-6-A	Grès siliceux	0,9	0,8	1,7	98,3
	14-1-64-13-A	Grès siliceux	0,4	0,1	0,5	99,5
	29-4-68-1-I	Grès siliceux	0	0	0	100

1. D'après JUNG (1963).

quand on monte en altitude vers les régions plus humides, le « mollic epipedon » diminue d'épaisseur (voir les profils n<sup>os</sup> 30-4-68-6 et 3-5-68-1, fiches n<sup>os</sup> 32 et 33, photos 2 et 1 de la pl. 7) : au sommet des Bni Snassène on atteint la limite vers l'humide des mollisols sur roches-mères calcaires.

Dès que, pour des raisons climatiques ou pétrographiques, les horizons Aca deviennent calcaires, les couleurs sont moins rouges, plus brunes.

4. *Les profils structuraux* des sols rouges se distinguent de ceux des sols châtains de la plaine par un meilleur développement des structures grumeleuses et grenues dans les horizons de surface, et par la rareté des structures prismatiques dans les horizons Bt des sols situés dans des poches karstiques. Cependant, quand ces sols ne sont pas étroitement prisonniers du karst, la structure prismatique s'y développe périodiquement, à chaque fois que l'humidité devient suffisamment faible : c'est le cas, en particulier, de tous les sols colluvionnés hors des poches karstiques.

5. *Le profil organique* est le premier aspect de ces sols rouges qui les distingue vraiment des sols châtains de la plaine. En effet :

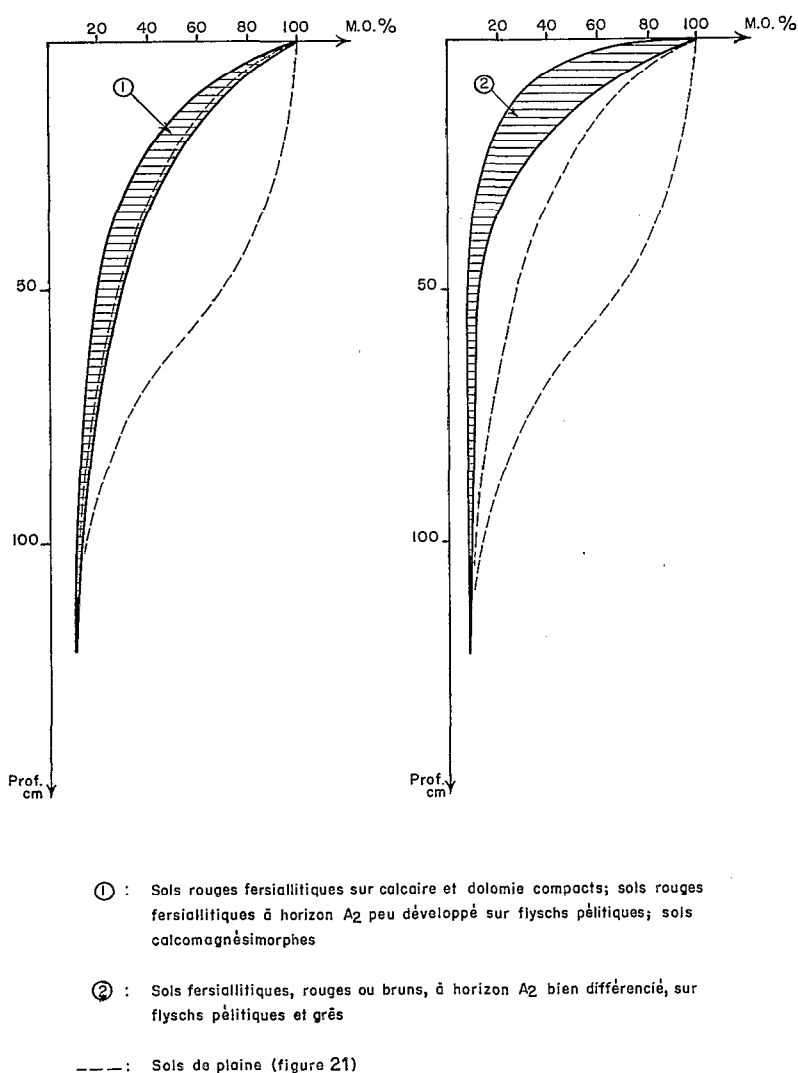


FIG. 34. — Répartition de la matière organique totale dans les sols des massifs montagneux de la Basse Moulouya (résultats exprimés en % des teneurs de l'horizon de surface).

— D'une part, ces sols, toujours couverts d'une végétation importante, sont beaucoup plus riches en matière organique, en surface et en profondeur (fig. 35).

— D'autre part, la répartition en fonction de la profondeur se fait selon des courbes voisines de celles que l'on connaît dans les zones arides des plaines, la décroissance étant cependant un peu plus rapide (courbe 1 de la fig. 34).

On s'éloigne donc de la répartition isohumique, mais la pénétration de la matière organique en profondeur est plus importante que dans les sols de la plaine.

En ce qui concerne la composition des matières organiques, il faut noter :

— des C/N nettement plus élevés ;

— des teneurs en acides fulviques et humiques qui, à basse altitude, sont celles des sols châtaîns de l'est des Triffa et à haute altitude sont du même ordre que celles des sols bruns de l'ouest des Triffa ; il y a donc avec l'altitude, augmentation des acides fulviques et diminution des acides humiques gris (fig. 36).

6. *L'état du fer* paraît identique dans les deux types de sols ; il faut seulement souligner que les rapports fer libre sur fer total sont un peu plus élevés dans les sols rouges : 0,6 à 0,75 au lieu de 0,5 à 0,7. Cependant, ces rapports sont également élevés dans les roches.

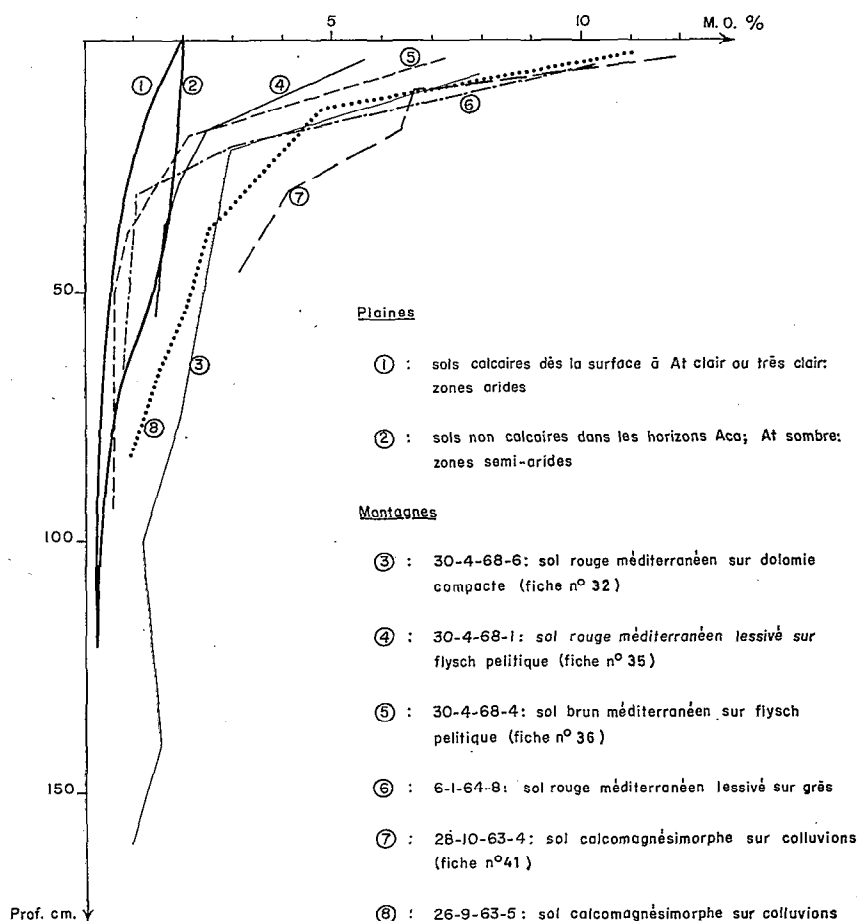


FIG. 35. — Répartition de la matière organique totale dans divers types de sols de la Basse Moulouya.

7. *Le complexe adsorbant* des sols rouges est, en général, plus pauvre en magnésium que celui des sols châtaîns ; même sur dolomie, le calcium domine nettement, et dans les horizons d'accumulation du calcaire les pH restent inférieurs à 8,5-8,6.

8. *Les minéraux argileux* des sols rouges sont assez différents de ceux des sols châtaîns, et il y a des variations importantes en fonction des zones climatiques (PAQUET, RUELLAN, TARDY et MILLOT, 1969 ; PAQUET, 1969). Dans les roches (tabl. XV), l'argile dominante est généralement l'illite, souvent très bien cristallisée ; certains échantillons peuvent cependant présenter des proportions importantes (50-80%) d'une très belle chlorite ; il peut y avoir aussi un peu de montmorillonite et de kaolinite. Pour les sols, on peut distinguer, en simplifiant, deux zones climatiques (tabl. XVI) :

— Une zone semi-aride qui, dans les Bni Snassène orientaux, s'étale à peu près entre 400 et 800 m d'altitude : les argiles, à part la kaolinite, sont très altérées avec développement d'édifices interstratifiés se rapprochant de la montmorillonite.

— Une zone subhumide, au-dessus de 800 m d'altitude, où l'altération, également très poussée des minéraux argileux, est accompagnée de l'apparition de la vermiculite, dans des proportions souvent importantes : ce minéral peut représenter jusqu'à 70% de la fraction argileuse.

Il faut, par ailleurs, souligner l'absence de l'attapulgit, dans les roches comme dans les sols.

#### PLANCHE 7

##### LES SOLS DES BNI SNASSÈNE.

##### 1. *Les sols fersiallitiques rouges méditerranéens*

*Photo 1* : Sol d'altitude (1200 m ; climat subhumide) sur dolomie compacte du Lias = Argixeroll ruptic (profil voisin de 3-5-68-1, fiche n° 33).

- At sombre peu développé ;
- Aca non calcaire épais ;
- Bca à nodules, peu épais.

*Photo 2* : Sol d'altitude plus faible (800 m ; climat subhumide) sur dolomie compacte du Lias = Argixeroll calcic et ruptic (le profil 30-4-68-6, fiche n° 32, est situé sur la gauche de la photo).

- At sombre bien développé ;
- Aca non calcaire, d'épaisseur variable ;
- Bca à nodules, épais ; il s'agit presque d'un encroûtement.

*Photo 3* : Sol d'altitude faible (300 m ; climat semi-aride) sur flysch pélitique du Primaire = Haploxeralf typic (profil 3-5-68-8, fiche n° 34).

- At clair ;
- Pas d'A<sub>2</sub> ;
- Pas de profil calcaire.

*Photo 4* : Sol d'altitude (850 m ; climat subhumide), lessivé, hydromorphe, sur grès siliceux à lits d'argile, du Malm = Palixeralf typic (profil 29-4-68-1, fiche n° 37).

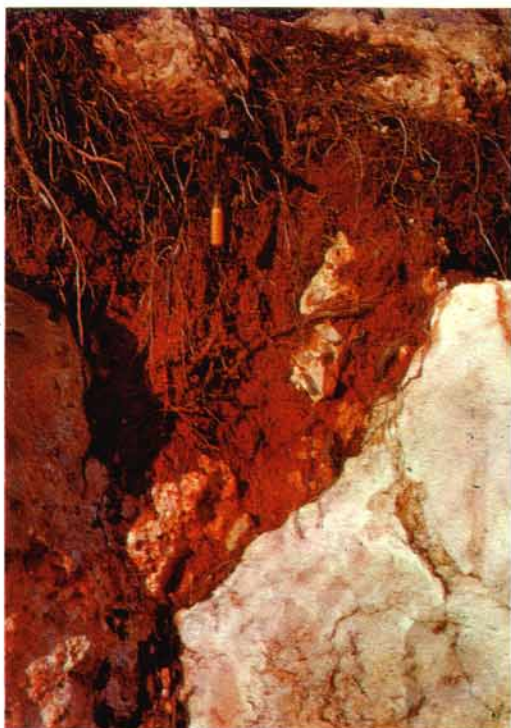
- Profil textural argileux très différencié avec A<sub>2</sub> ;
- Limite brutale entre A<sub>2</sub> et Bt ;
- Bca profond, non visible sur la photo ;
- Pseudo-gley à la base du Bt.

##### 2. *Les sols calcomagnésimorphes*

*Photo 5* : Sol développé sur basalte triasique, partiellement pollué en surface par des colluvions calcaires provenant du Lias situé à l'amont (voir planche 3, photos 3 et 4). Altitude 600 m ; climat semi-aride. Calcixeroll.

- At sombre ;
- Aca calcaire ;
- Bca 1 : amas et nodules au-dessus du basalte ;
- Bca 2 : croûte dans le basalte altéré.





1



2



3



5

Aca

Bca

1

Bca

2

C



4

A 2

Bt

pseudo-gley

C+R



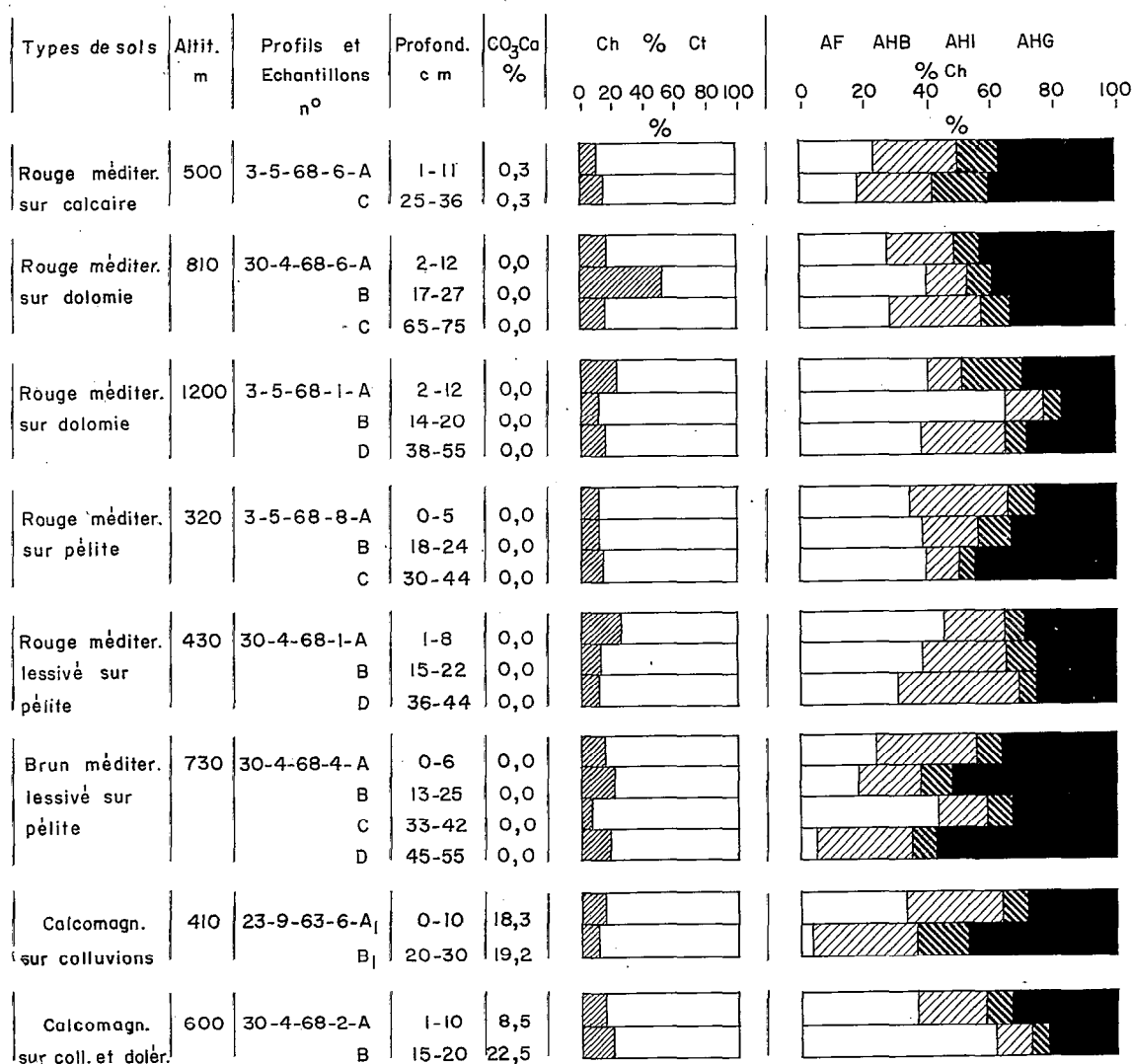


FIG. 36. — Quelques exemples de la composition des matières humiques dans les sols des montagnes de la Basse Moulouya

Au total, on doit donc retenir :

— « L'air de famille » qui rapproche les sols rouges sur calcaires et dolomies compacts des sols châtaîns à profil calcaire moyennement différencié et à horizon At sombre : les organisations morphologiques de ces deux types de sols sont tout à fait voisines ; dans le cadre de la classification américaine, ils appartiennent d'ailleurs tous les deux au même groupe des argixerolls. Ces sols rouges se rapprochent aussi beaucoup des sols châtaîns à At clair : en plus de la couleur, la structure des horizons de surface est cependant différente.

— La variation des principaux caractères de ces sols rouges quand on va vers des zones de moins en moins arides. Ces variations prolongent celles déjà observées dans les sols de la plaine (chap. 4, § I) : l'horizon Aca non calcaire s'épaissit ; l'horizon At sombre se développe puis diminue de nouveau d'épaisseur ; les proportions de fer libre augmentent ; les pH diminuent ; l'attapulгите, déjà peu abondante dans les sols des régions les moins arides des Triffa, est absente de la montagne ; l'altération des minéraux argileux s'accroît.

TABLEAU XV. Minéraux de la fraction fine (&lt; 2 microns) des principales roches des massifs montagneux de la Basse Moulouya

Echantillons n <sup>os</sup>	Etage	Dénomination des roches	I	I <sup>o</sup>	Edif. interstr.		M	C + K	
					Composit.	%		Rep.	%
3-5-68-4-G	Primaire	Granite altéré		80				CK	20
3-5-68-8-D		Pélite	80					Ck	20
30-4-68-1-G		Pélite grossière		60				Ck	40
H		Pélite	90		CV-rég.	10		K	tr
30-4-68-4-G		Pélite grossière		50	CV	50		K	tr
H		Pélite	100					C	tr
3-5-68-5-D		Pélite	70		CV	10		Kc	20
26-9-63-8-B	Trias	Argile rouge		30	IC	20		CK	50
28-10-63-1-A		Argile rouge		50				CK	50
30-4-68-2-K		Dolérîte						C	100
30-4-68-7-D		Dolérîte peu altérée	70		IM-M	20		Ck	10
30-4-68-5-C		Dolérîte altérée					100		
30-4-68-3-B		Calcaire		40				C	60
3-5-68-6-I	Lias	Calcaire	80					Kc	20
22-3-64-2-A		Calcaire dolomitique	30				20	Ck	50
22-3-64-2-E		Calcaire dolomitique	20					Ck	80
CAR-2		Calcaire dolomitique à silex		100				C	tr
3-5-68-3-G		Dolomie calcaire	70					Kc	30
30-4-68-6-I		Dolomie compacte	40		CM-rég.	50		K	10
22-1-64-1-B		Dolomie compacte	100					C	tr
22-1-64-3-B		Dolomie compacte		70				Kc	30
3-5-68-1-E		Dolomie compacte	60					Kc	40
CAR-3		Calcaire marneux		60				CK	40
CAR-4	Dogger	Calcaire marneux			I-IM	60		CK	40
CAR-5		Calcaire		60				CK	40
CAR-11		Silt	50		CM	tr		CK	50
CAR-10		Marne		40	CM	30		CK	30
14-1-64-6-A	Malm	Grès siliceux		20			70	K	10
6-1-64-7-B		Grès siliceux		20				K	80
29-4-68-1-I		Grès siliceux		10			80	Kc	10
14-1-64-4-A		Grès dolomitique		20				K	80
6-1-64-3-A		Grès dolomitique		20				K	80
14-1-64-10-A		Marne verte	90				10		
14-1-64-3-G		Marne verte		60			30	Kc	10
6-1-64-2-B		Marne verte		80				Kc	20
29-4-68-1-J		Argile verte		70			30	Kc	tr
14-1-64-12-A		Calcaire magnésien		100	IM	tr		CK	tr
14-1-64-9-A		Calcaire oolithique magnétique		40			60	CK	tr
6-1-64-1-A		Calcaire dolomitique		100					
1-5-68-1-C	Miocène	Argile	60				10	CK	30
CAR-9		Marne bleue		40			40	CK	20
1-5-68-1-B		Marne		60			10	CK	30
CAR-12		Marne sableuse			I-IM	70		Kc	30
1-5-68-1-A		Calcaire			I-IV-IC-C	100			

Voir légende p. 92.

TABLEAU XVI. Minéraux de la fraction fine (&lt; 2 microns) des sols rouges méditerranéens sur calcaires et dolomies compacts des Bni Snassène orientaux

Profils n <sup>os</sup>	Ech. n <sup>os</sup>	Altit. m	Profondeurs des échantillons en cm et dénominations des horizons	I	I <sup>o</sup>	Edif. interstr.		C + K		
						Composition	%	Rép.	%	
3-5-68-6 (fiche n° 31)	A	500	1- 11 : At sombre, rouge, non calcaire			I-IM-M-CM	80	CK	20	
	C		25- 36 : At sombre, rouge, non calcaire		I-IM-M-CM	80	CK	20		
	E		59- 65 : Bt, rouge, peu calcaire		I-IM-M-CM	70	CK	30		
	F <sub>1</sub>		73- 90 : Bca ; amas et nodules nombreux		I-IM-M-CM	70	CK	30		
	G		105-125 : Bca ; amas et nodules nombreux		I-IM-M-CM	70	CK	30		
	F <sub>2</sub>		Granules et nodules calcaires		I-IM-M-CM	70	CK	30		
	H		Gros nodule calcaire		I-IM-M-CM	70	CK	30		
	I		Calcaire magnésien	80				Kc	20	
30-4-68-6 (fiche n° 32)	A	810	2- 12 : At sombre, rouge, non calcaire		10	IM-CV	70	Kc	20	
	B		17- 27 : At sombre, rouge, non calcaire		IM-CV	80	Kc	20		
	C		65- 75 : Bt, rouge, non calcaire		IM-CV-V	80	Kc	20		
	D		95-105 : Bca ; quelques amas et granules		IM-CV-V	80	Kc	20		
	F		135-145 : Bca ; amas et nodules nombreux		IM-CM	70	Ck	30		
	H		Nodules calcaires		I-IM-CM	70	C	30		
	I		Dolomie	40		CM-rég.	50	C	10	
22-1-64-3	A	1000	Sol rouge			I-IV	20	50	Kc	30
	B		Dolomie		70				Kc	30
3-5-68-1 (fiche n° 33)	A	1200	2-12 : At sombre, rouge, non calcaire			I-IV	40	40	Kc	20
	B		14-20 : At sombre, rouge, non calcaire		I-IV	40	40	Kc	20	
	C		25-31 : Bt, rouge, non calcaire		I-IV-CV	30	50	Kc	20	
	D		38-55 : Bca ; accumulation de dol. fine		I-IV-CV	40	40	Kc	20	
	F		100 : Bca ; accumulation de dol. fine		IV	10	40	Kc	20	
	E		Dolomie	60				Kc	40	
3-5-68-3	A	1270	0-12 : At sombre, rouge, non calcaire			I-IV	40	60	K	tr
	B		15-23 : Bt, rouge, non calcaire		I-IV	30	70	K	tr	
	C		32-43 : Bt, rouge, peu calcaire		I-IV-VM	80		K	20	
	D		47-57 : Bca ; amas et nodules nombreux		I-IV-VM	80		K	20	
	F		72-77 : Bca ; amas et nodules nombreux		I-IV-IM-VC	70		Kc	20	
	E		Nodule calcaire		IV-IM	80		K	20	
	G		Dolomie		70			Kc	30	

Voir légende p. 92.

## II. LES SOLS FERSIALITQUES, ROUGES ET BRUNS MÉDITERRANÉENS, SUR FLYSCHS PELITIQUES

Sur les flyschs pélitiques, qui abondent dans les Kibdana et dans les Bni Snassène orientaux, les sols sont soit peu évolués (s'il y a eu érosion), soit de type fersialitique.

Parmi ces derniers, on peut distinguer quatre types de sols principaux :

- les sols rouges (2,5 YR dans le Bt), à horizon Bca et sans horizon A<sub>2</sub> ;
- les sols rouges sans horizon Bca, ni horizon A<sub>2</sub> ;
- les sols rouges présentant un horizon A<sub>2</sub> nettement séparé d'un horizon Bt qui est souvent hydromorphe ;
- les sols bruns (5 ou 7,5 YR dans le Bt), présentant un horizon A<sub>2</sub> encore mieux différencié que dans les sols rouges et un horizon Bt nettement hydromorphe, à pseudogley.

1. *Les sols rouges à horizon d'accumulation de calcaire (Bca) et sans horizon A<sub>2</sub>*<sup>1</sup> sont morphologiquement très voisins des sols qui, dans les plaines, ont un profil calcaire moyennement ou très différencié, un horizon Aca non calcaire et un horizon At sombre ou clair. Ils s'en distinguent cependant par :

- une texture plus caillouteuse : éléments nombreux de pélite fine et grossière ;
- une structure plus grenue et grumeleuse en surface ;
- un profil organique identique à celui des sols rouges sur calcaires et dolomies compacts : les teneurs sont plus élevées et la répartition est moins isohumique ;
- un complexe adsorbant principalement saturé en calcium et des pH ne dépassant pas 8,5 ;
- des minéraux argileux plus altérés, parmi lesquels les interstratifiés gonflants, se rapprochant de la montmorillonite, sont fréquents ; l'attapulгите est absente (tabl. XVII).

Il convient de souligner l'importance de ces sols pour l'étude de l'accumulation du calcaire dans les horizons Bca et C. Au niveau de l'horizon C, la roche pélitique, non calcaire, est « entre-lardée » de pellicules calcaires plus ou moins épaisses (quelques millimètres) et ceci jusqu'à une profondeur qui peut dépasser les 2 m. Dans les horizons Bca, toute la fraction fine est imprégnée par le calcaire. Tout ce calcaire ne peut provenir de l'altération de la roche pélitique, et ces sols n'existent d'ailleurs qu'à l'aval de roches ou de sols calcaires.

Ces sols sont fréquents surtout dans les zones les plus arides de la région (piémonts des Bni Snassène et des Kibdana), donc dans les zones nettement plus sèches que celles où l'on trouve les sols rouges sur calcaires et dolomies compacts.

2. *Les sols rouges sans horizon Bca et sans horizon A<sub>2</sub>* sont morphologiquement identiques aux sols à profil calcaire non différencié, non calcaires, à horizon At sombre ou clair, à profil textural différencié. Les différences sont les mêmes que celles qui ont été soulignées pour le type précédent (profil n° 3-5-68-8, fiche n° 34, photo 3 de la pl. 7).

Ces sols n'existent que dans les secteurs les plus arides des massifs, ou à proximité d'une source importante de calcium dont la présence en excès semble gêner la différenciation de l'horizon A<sub>2</sub> (chap. 7, § III).

3. *Les sols rouges et bruns à horizon A<sub>2</sub>*, se distinguent nettement de ceux de la plaine (profils n°s 30-4-68-1 et 4, fiches n°s 35 et 36). En effet :

- Il n'y a pas de profil calcaire.

1. Horizon A<sub>2</sub> : horizon A textural nettement séparé par une limite tranchée, d'un horizon B textural beaucoup plus riche en argile.

— Le profil textural argileux est marqué par la présence d'un horizon  $A_2$  : horizon A textural, de couleur souvent claire, assez pauvre en argile, nettement séparé, par une limite tranchée, d'un Bt dans lequel les teneurs maximums en argile sont généralement atteintes presque au sommet. Dans ce Bt, les vrais revêtements argileux restent rares (chap. 2, § II-B).

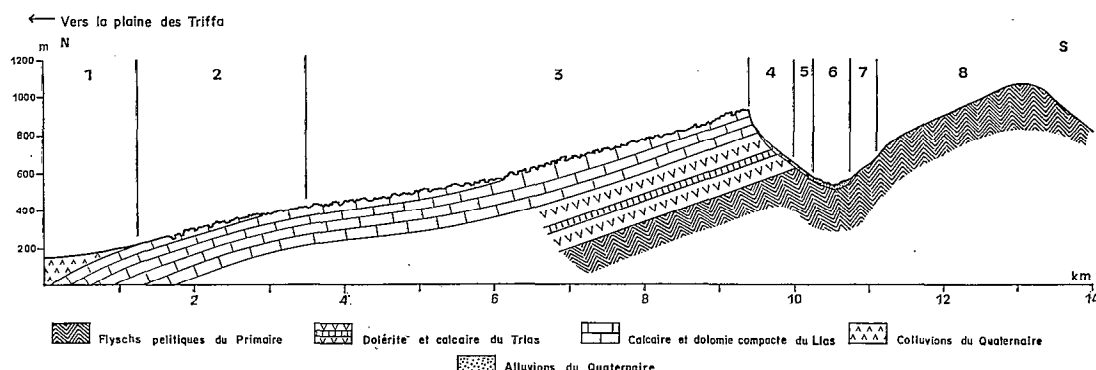
— Les couleurs jaunes, grises et rouges du pseudo-gley sont fréquentes, surtout dans les horizons Bt des sols bruns.

— La structure des horizons  $A_2$  est souvent mal développée, grossière, assez anguleuse. A l'état sec, l'horizon est massif et dur.

— La décroissance de la matière organique avec la profondeur est rapide (courbes 2 de la fig. 34 ; fig. 35) : ces sols, couverts d'une végétation importante, ont en surface, des teneurs de 5 à 10%, mais, dès 30-40 cm de profondeur, ils sont généralement plus pauvres que les sols des plaines semi-arides ; la pénétration de la matière organique dans les horizons profonds est donc moins importante que dans les sols rouges ne possédant pas d'horizon  $A_2$ . En altitude, cet  $A_2$  a d'ailleurs tendance à se subdiviser en  $A_1$  organique, de couleur foncée, et  $A_2$  s.s. de couleur claire.

— Les C/N des horizons de surface sont élevés, mais la composition de la matière organique ne se distingue pas, d'après les quelques chiffres dont on dispose actuellement, des sols des plaines semi-arides (fig. 36).

— Les proportions de fer libre sont plus élevées que dans tous les autres sols de la plaine et de la montagne : les rapports du fer libre sur le fer total se situent entre 0,7 et 0,9 et ils sont souvent plus élevés dans les sols bruns que dans les sols rouges (ces rapports sont toujours nettement plus élevés dans les sols que dans les pélites : ceci est valable pour tous les sols fersiallitiques sur flyschs pélitiques).



- (1) Sols châtaîns isohumiques subtropicaux de la plaine des Triffa.
- (2) Passage progressif de sols calcomagnésimorphes à des sols fersiallitiques rouges méditerranéens non lessivés, sur calcaires et dolomies compacts.
- (3) Sols fersiallitiques rouges méditerranéens non lessivés, sur calcaires et dolomies compacts (apparition de la vermiculite dans les zones les plus élevées).
- (4) Sols calcomagnésimorphes : rendzines à horizons, encroûtées, sur colluvions calcaires et dolérites du Trias ; la teneur en calcaire des horizons de surface augmente quand on descend dans la vallée.
- (5) Association de sols calcomagnésimorphes : rendzines à horizons, encroûtées, sur colluvions calcaires ; et de sols fersiallitiques rouges méditerranéens non lessivés, modaux ou encroûtés, sur flyschs pélitiques.
- (6) Sols isohumiques subtropicaux et sols peu évolués d'apport sur terrasses alluviales.
- (7) Sols fersiallitiques rouges méditerranéens lessivés, modaux ou hydromorphes, sur flyschs pélitiques.
- (8) Association de sols fersiallitiques rouges et bruns méditerranéens lessivés, modaux ou hydromorphes, sur flyschs pélitiques. Les sols bruns deviennent plus fréquents avec l'altitude (et la vermiculite se développe).

FIG. 37. — Schéma de la répartition des principaux types de sols en fonction des roches-mères et des zones climatiques (altitude) dans les Bni-Snassène orientaux.

TABLEAU XVII. Minéraux de la fraction fine (&lt; 2 microns) des sols rouges et bruns méditerranéens sur flyschs pélitiques et grès des Bni Snassène

Profils n <sup>os</sup>	Ech. n <sup>os</sup>	Altit. m	Profondeurs des échantillons en cm et dénominations des horizons	I	I <sup>o</sup>	Edif. interstr.		V	M	C + K	
						Composit.	%			Rép.	%
3-5-68-8 (fiche n <sup>o</sup> 34)	A	320	0- 5 : At clair, rouge, non calcaire			I-IM-M	80			Ck	20
	B		18-24 : Bt, rouge, non calcaire			I-IM-M	80			Ck	20
	C		30-44 : Bt, rouge, non calcaire			I-IM-M	80			Ck	20
	D		Pélite	80						Ck	20
30-4-68-1 (fiche n <sup>o</sup> 35)	A	430	1- 8 : A <sub>2</sub>		90					Ck	10
	C		25-33 : Bt, rouge		100					K	tr
	D		36-44 : Bt, rouge		100					Ck	tr
	G		Pélite grossière		60					Ck	40
	H		Pélite fine	90		CV-rég.	10			K	tr
30-4-68-4 (fiche n <sup>o</sup> 36)	A	730	0- 6 : A <sub>2</sub>		80					CK	20
	B		13- 25 : A <sub>2</sub>		80					CK	20
	C		33- 42 : Bt, brun		90					CK	10
	D		45- 55 : Bt, brun		100					K	tr
	F		105-115 : C, hydromorphe		100					CK	tr
	G		Pélite grossière		50	CV	50			K	tr
	H		Pélite fine	100						C	tr
3-5-68-5	A	1 230	0- 9 : A <sub>2</sub>			I-IV	40	50		Kc	10
	B		14-29 : Bt, brun		40			50		Kc	10
	C		40-55 : C		40			50		Kc	10
	D		Pélite	70		CV	10			Kc	20
6-1-64-7	A	570	20-30 : Bt, rouge		40					Kc	60
	B		Grès siliceux		20					K	80
6-1-64-3	B	630	40 : Bt, rouge		60					Kc	40
	A		Grès dolomitique		20					K	80
29-4-68-1 (fiche n <sup>o</sup> 37)	A	1 000	1- 7 : A <sub>2</sub>			I-IV-V	70			Kc	30
	B		10- 15 : A <sub>2</sub>			I-IV-V	70			Kc	30
	C		40- 48 : Bt, rouge, non calcaire			I-IV-V	70			Kc	30
	D		70- 78 : Bt, rouge, non calcaire			I-IV-V	70			Kc	30
	E		105-115 : pseudo-gley		50				30	K	20
	F		155-162 : C	tr					90	K	10
	G		Croûte	tr					100	Ck	tr
	H		Grès encroûté	tr					100	K	tr
	I		Grès siliceux		10				80	Kc	10
	K		Argile verte encroûtée		70				30	Kc	tr
	J		Argile verte		70				30	Kc	tr

Voir légende p. 92.

— La saturation du complexe adsorbant de ces sols, essentiellement calcique, est toujours élevée, supérieure à 80-90%, mais les pH sont plus faibles que ceux auxquels on est habitué dans les plaines ou dans les autres sols des massifs montagneux : les pH eau se situent entre 7 et 8 et les pH KCl entre 6 et 7. Dans les zones d'altitude subhumides, les pH eau sont même acides dans les horizons de surface et les pH KCl peuvent descendre jusqu'à 5.

— En ce qui concerne les minéraux argileux, on peut distinguer deux zones climatiques (tabl. XVII) :

à moyenne altitude, une zone semi-aride et subhumide : les minéraux argileux sont très altérés, mais il n'y a ni les interstratifiés gonflants à tendance montmorillonitique que l'on trouve dans les sols rouges, sans horizon  $A_2$ , situés à plus basse altitude (zones plus arides), ni la vermiculite ;

à haute altitude, une zone subhumide où, comme dans les sols rouges sur calcaire et dolomie compacts, la vermiculite est présente en quantités importantes.

Tous ces résultats manquent encore de précision, dans les domaines analytiques et micro-morphologiques surtout. On est cependant en droit de retenir l'apparition, dans ces sols sur pélites, d'un autre type de différenciation pédologique essentiellement caractérisé par la présence d'un horizon  $A_2$  nettement séparé du B textural : ce sont des sols dominés par un profil textural très accentué alors que, jusqu'à présent, nous étions au milieu de sols dominés par le profil calcaire. Ce type de différenciation n'existe d'ailleurs sur les pélites que dans des milieux où le calcaire est absent et dans des zones où le climat est suffisamment humide (plus de 400 mm de pluie, environ) : il n'y a d'abord, en région semi-aride, que des sols rouges, puis, quand on monte vers des régions plus humides, les sols bruns apparaissent progressivement ; ils restent cependant étroitement associés aux sols rouges, la présence de l'un ou de l'autre type paraissant être le résultat des conditions locales de drainage ; mais plus on va vers les zones humides, plus les sols bruns dominent sur les sols rouges qui pâlisent. A moins de 400 mm, l'horizon  $A_2$  disparaît, mais les sols rouges sur pélites, avec ou sans horizon Bca existent jusque dans les régions arides.

### III. LES SOLS FERSIALLITIQUES, ROUGES MÉDITERRANÉENS, SUR GRÈS

Dans le paragraphe précédent, il a été vu que dans les sols sur pélites, caractérisés par un drainage assez faible, il y avait un antagonisme certain entre la présence du calcaire et le développement d'un horizon  $A_2$  nettement séparé du Bt : l'apparition d'un profil calcaire, même léger, fait disparaître un profil textural très différencié. Dans les sols sur grès (Malm), qui sont entrecoupés de bancs d'argile et dont les ciments sont, selon les cas, siliceux ou dolomitiques (tabl. XIV), cet antagonisme entre le calcaire et l' $A_2$  se confirme mais d'une façon un peu différente (profil n° 29-4-68-1, fiche n° 37, photo 4 de la planche 7).

1. Ces sols ont souvent un profil calcaire, quelle que soit la teneur en calcaire du grès. En profondeur, l'altération d'un grès non calcaire s'accompagne fréquemment de l'apparition de calcaire : plus l'altération du grès l'a rendu friable, plus il est calcaire et vers le haut on peut passer à des encroûtements massifs et sableux avec ou sans croûte au sommet. Tout ceci n'existe cependant qu'à l'aval d'un milieu calcaire.

2. Le profil textural argileux se modifie en fonction du profil calcaire : dans les sols calcaires dès la surface, qui sont rares, et dans les sols où le calcaire apparaît à une profondeur assez faible (moins de 100 cm), le profil textural est moyennement différencié. Mais, si l'apparition du calcaire

TYPES DE DIFFERENCIATION PEDOLOGIQUE				Fiches n°	Profils n°	CLASSIFICATION G. AUBERT										CLASSIFICATION AMERICAINE									
						Sols peu évolués	Sols calco-magnésimorphes	Sols fersiallitiques						Entisols	Mollisols					Alfisols					
						D'origine climatique	Rendzini-formes	Rouges et bruns méditerranéens						Orthents	Xerolls					Xerafils					
						Rankers	Rendzines à horizons	Rouges non lessivés		Rouges lessivés		Bruns		Xerorthents	Argi-xerolls	Calci-xerolls	Pale-xerolls	Haploxerafils			Pale-xerafils				
Profil textu-ral argileux	Profil cal-caire	Hori-zon Aca	Hori-zon At				Encroûté	Modal	En-croûté	Modal	Hydro-morphe	En-croûté	Hydro-morphe	Typic	Calcic	Ruptic	Typic	Petro-calcic	Abrup-tic	Typic	Mollic	Aquic	Typic		
Non diffé-rencié	Non cal-caire			42	3-5-68-4	x								x											
Moyen-nement diffé-rencié	Non cal-caire		Clair	34	3-5-68-8			x												x					
	Moyen. diffé-rencié	Non cal-caire	Sombre	33	3-5-68-1			x								x									
	Très diffé-rencié	Cal-caire	Sombre	38	14-1-64-3		x											x							
				39	30-4-68-2		x												x						
				40	23-9-63-3		x												x						
				41	28-10-63-4		x												x						
	Non cal-caire	Sombre	31	3-5-68-6				x							x	x									
			32	30-4-68-6				x								x	x								
Très diffé-rencié	Non cal-caire		Sombre	35	30-4-68-1					x										x					
			Clair	36	30-4-68-4								x									x	x		
	Très diffé-rencié	Non cal-caire	Clair	37	29-4-68-1						x	x											x		

TABLEAU XVIII. Classification des sols des montagnes de la Basse Moulouya, donnés en exemple dans les fiches de profils n°s 31 à 42



est profonde, et c'est le cas le plus fréquent, se situant au plus haut à la base du Bt, le profil textural est très différencié avec un horizon  $A_2$  très bien développé, beaucoup mieux encore que ceux des sols sur pélites. La limite séparant cet  $A_2$  du Bt est très nette, très brutale ; sa texture est légère ; sous un horizon  $A_1$  qui, en altitude, peut être assez sombre, sa couleur est toujours très claire ; sa structure est peu développée et, à l'état sec, sa compacité est élevée.

3. En plus d'un profil textural très différent, bien d'autres caractères distinguent les sols rouges fersiallitiques lessivés sur grès, des sols à profil calcaire différencié de la plaine :

— Dans le B textural, très rouge (2,5 YR et 10 R), les vrais revêtements argileux, sur les agrégats et dans les pores, sont assez fréquents. Les structures sont polyédriques grossières, souvent mal développées.

— Des pseudo-gleys et des concrétions ferrugineuses ne sont pas rares dans les horizons Bt.

— Il n'y a jamais de « mollic epipedon ». Par ailleurs, il peut y avoir plus de 10% de matière organique en surface, mais la décroissance des taux en fonction de la profondeur est très rapide (fig. 34 et 35), plus encore que dans les sols sur pélites.

— Les complexes adsorbants sont souvent légèrement désaturés et les pH plus faibles que dans la plaine.

— Les grès et les argiles contenant souvent des proportions importantes de kaolinite et de montmorillonite (tabl. XV et XVII), on retrouve ces minéraux argileux dans les sols. La montmorillonite ne se maintient cependant qu'à la base des horizons Bt et dans les encroûtements calcaires. Quant aux illites, elles sont en général moins altérées que dans les sols sur calcaire ou sur pélite et, même dans les zones subhumides, la vermiculite s'individualise rarement.

4. La répartition des sols sur grès en fonction des climats actuels est très nette. C'est dans les zones subhumides que les sols rouges à profil textural très différencié, profondément non calcaires, se développent le mieux ; les grès y sont cependant assez rares et ce type de sol rouge ne couvre donc pas, en Basse Moulouya, de grandes surfaces. Sous climat aride, seuls certains grès rouges siliceux peuvent encore donner quelques sols rouges dans lesquels l'horizon  $A_2$  est cependant peu différencié. Les autres grès, sont, dès que l'on se trouve en milieu semi-aride sec, couverts de sols calcomagnésimorphes, c'est-à-dire de sols à profil textural moyennement différencié et profil calcaire plus ou moins bien différencié (voir § suivant). Entre les sols rouges et ces sols calcaires, les transitions sont nombreuses et variables selon les données pétrographiques et géomorphologiques. Elles se traduisent essentiellement par une diminution de l'épaisseur et de la netteté de l'horizon  $A_2$ , par une atténuation de la rubéfaction, par l'envahissement du calcaire dans le B textural et par le développement des croûtes calcaires. Ces variations pédologiques en fonction des situations climatiques sont d'ailleurs souvent très nettes à courtes distances : dans la vallée de Sidi Bouzid par exemple, à l'ouest de Taforalt, vers 450-500 m d'altitude (semi-aride) les versants nord et ouest sont couverts de sols rouges alors que les versants sud et est sont à la fois beaucoup plus calcaires et plus érodés. Par contre, plus haut, tous les versants portent des sols rubéfiés.

## IV. LES SOLS CALCOMAGNESIMORPHES ET LES SOLS ISOHUMIQUES

Dans de nombreuses vallées des massifs montagneux, sur certains dépôts de versants et surtout sur les alluvions des terrasses, on peut observer des sols qui, d'après les critères de la classification d'AUBERT, sont des sols isohumiques. Ils sont identiques à ceux des plaines.

Par ailleurs, dans les différentes régions montagneuses de la Basse Moulouya, les sols que l'on classe habituellement parmi les calcomagnésimorphes couvrent des surfaces importantes :

— Sur les calcaires et dolomies compacts et sur les grès, ils prennent le relai des sols rouges méditerranéens dès que le climat est trop aride (au-dessous de 450-400 mm).

— Sur les calcaires marneux et les marnes, tendres, peu perméables et sensibles à l'érosion, ils sont présents, associés aux sols peu évolués d'érosion, dans tous les secteurs climatiques (profil n° 14-1-64-3, fiche n° 38).

— Ils se déploient également très largement sur toutes les colluvions calcaires du Quaternaire qui tapissent les versants, souvent abrupts des vallées (profils n°s 23-9-63-3 et 28-10-63-4, fiches n°s 40 et 41).

— Sur ces versants, qui tranchent des niveaux géologiques variés, on les voit même reposer sur des roches non calcaires : dolérite, flysch pélitique, granite, colluvions de sols rouges, à condition cependant qu'il y ait un amont calcaire important, une corniche du Lias par exemple (profil n° 30-4-68-2, fiche n° 39, photo 5 de la planche 7).

Cependant, quand on recherche les caractères qui permettent de distinguer ces sols calcomagnésimorphes montagneux des sols isohumiques, on est, au contraire, vite surpris par les ressem-

TABLEAU XIX. Minéraux de la fraction fine (< 2 microns) des sols calcomagnésimorphes et du ranker sur granite des Bni Snassène

Profils n°s	Ech. n°s	Alt. m	Profondeurs des échantillons en cm et dénominations des horizons	I <sub>0</sub>	Edif. interstr.		M	C + K	
					Composit.	%		Rep.	%
23-9-63-3 (fiche n° 40)	A	400	0-7 : At sombre, calcaire		I-IV-CM	70		Ck	30
	B		7-22 : At sombre, calcaire		I-IV-CM	70		Ck	30
	C		22-32 : At sombre, calcaire	30	IV	20		Ck	50
	D		40-50 : Bca ; encroûtement massif	30	IV	20		Ck	50
	E		70-80 : Bca ; encroûtement massif		I-IV	30		Ck	70
14-1-64-3 (fiche n° 38)	A	510	0-7 : At sombre, calcaire	80	CM	tr		Kc	20
	B		10-17 : At sombre, calcaire	80	CM	tr	tr	Kc	20
	C		17-23 : At sombre, calcaire	80			tr	Kc	20
	D		28-37 : Bca ; distribution diffuse	70			20	Kc	10
	E		40-46 : Bca ; distribution diffuse	70			20	Kc	10
	F		52-58 : Bca ; marne encroûtée	70			20	Kc	30
	G		65-75 : Bca ; marne encroûtée	60			30	Kc	10
30-4-68-2 (fiche n° 39)	B	600	15-20 : At sombre, calcaire	50	IM-CM	20		C	30
	C		28-42 : Bca ; nodules	30	IM-CM	20		C	50
	F		55-56 : Bca ; pellicule rubanée		I-IM	40		C	60
	F'		60 : Bca ; croûte tendre	30	IM	10		C	60
	G		60 : Bca ; croûte dure	30	IM	10		C	60
	I		120 : Bca ; encroûtement massif		I-IV-CM	100		C	tr
	J		170 : Bca ; encroûtement massif				50	C	50
	K		Dolérite					C	100
3-5-68-4 (fiche n° 42)	A	1 250	2-9 : A organique	50	IV-V	40		CK	20
	B		9-14 : A organique		I-IV-V	80		CK	20
	C		16-21 : A organique		I-IV-V	100		CK	tr
	E		40-50 : arène granitique	80				CK	20
	G		150 : granite altéré	80				CK	20

Voir légende p. 92.

blances. En fait, les sols calcomagnésimorphes se rapprochent beaucoup de toute la gamme des sols bruns isohumiques, c'est-à-dire de tous les sols plus ou moins calcaires dès la surface, et ce rapprochement est encore plus étroit que celui déjà constaté entre les sols rouges sur calcaire et dolomie et les sols châtaîns.

En particulier, tous les types de profils calcaires décrits dans les plaines sont observables dans les sols calcomagnésimorphes et il est intéressant d'analyser comment ces profils calcaires se modifient en fonction des éléments du milieu.

Les principales variations se font d'abord en fonction des roches-mères et des matériaux originels :

— Dans des situations climatiques et géomorphologiques identiques, les horizons Aca sont moins calcaires sur les calcaires et dolomies compacts que sur les calcaires marneux et les marnes. Ils sont bien sûr encore moins calcaires sur des roches non calcaires : granite, flysch pélitique, dolérite.

— La morphologie et la puissance des horizons Bca varient également en fonction des roches-mères : les grès et les marnes favorisent les encroûtements massifs ; les roches calcaires compactes portent plutôt des sols à nodules ; les pellicules de croûtes pénètrent très bien les pélites et surtout les dolérites qui sont souvent couvertes de sols à croûtes tout à fait typiques. Il faut souligner que la pénétration du calcaire en filons de croûtes dans les dolérites altérées est souvent dense et profonde (photo 5 de la pl. 7).

— Sur les colluvions qui tapissent les versants des grandes vallées, le profil calcaire dépend de l'origine de ces colluvions : leur richesse en calcaire au moment de la mise en place oriente celle de l'horizon Aca, et la texture plus ou moins grossière, plus ou moins caillouteuse, influence la morphologie de l'horizon Bca (croûte dans les dépôts caillouteux, encroûtement non feuilleté dans les dépôts à texture fine, etc.).

Les profils calcaires se modifient aussi en fonction des situations climatiques et topographiques :

— D'une façon générale, quand on va vers les zones plus humides, la teneur en calcaire des horizons Aca diminue et les encroûtements sont moins durs : les encroûtements non feuilletés dominent de plus en plus sur les croûtes.

— Comme dans les plaines, les sols et surtout leurs profils calcaires changent en fonction des formes emboîtées et des variations du relief de détail. Mais il faut tout particulièrement souligner l'importance de la position du profil par rapport aux roches, aux sols et aux formes qui le dominent : la nature des colluvions, le développement des sols à profil calcaire sur des roches non calcaires, la richesse en calcaire des horizons Aca, Bca et C, tout ceci varie en fonction de la nature, de l'importance et de la forme de l'amont calcaire, en fonction aussi des mécanismes de pédogenèse et d'érosion qui s'y poursuivent. Les migrations latérales, de matériaux et de solutions, paraissent donc importantes : on en discutera en détail dans le chapitre 7.

Les sols calcomagnésimorphes des zones montagneuses de la Basse Moulouya sont donc, comme les sols bruns isohumiques des plaines, des sols à profil calcaire différencié : seuls quelques caractères de détail, qui reflètent des situations climatiques et géomorphologiques différentes, permettent de les distinguer :

— En montagne, les textures globales, qui dépendent des roches-mères, sont très variées : elles sont en général plus grossières, plus caillouteuses que dans la plaine.

— Dans la plupart des sols calcomagnésimorphes, la structure des horizons supérieurs est beaucoup plus développée, plus fine, plus grumeleuse et grenue que dans la plaine. Par ailleurs, les couleurs sont en général foncées, inférieures à 3,5/3,5. Il faut cependant rappeler que dans les zones semi-arides de la plaine, les sols bruns isohumiques dont la couverture végétale n'est pas trop dégradée, ont des structures et couleurs voisines. Par ailleurs, dans les zones arides où la couverture végétale est dégradée, les sols dénommés calcomagnésimorphes ont des structures et des couleurs qui sont tout à fait celles des sols bruns isohumiques.

— Quand la couverture végétale des sols calcomagnésimorphes n'est pas trop dégradée, leur profil organique est identique à celui des sols rouges sur calcaire et dolomie ; dans le cas contraire, il est plus ou moins isohumique.

— La saturation du complexe adsorbant est essentiellement calcique et les pH eau se situent entre 8,0 et 8,6.

— Les minéraux argileux reflètent assez fidèlement ceux de leurs roches-mères (tabl. XIX). Il est cependant quelquefois assez délicat de déterminer quelles sont les vraies roches-mères de ces sols (chap. 7, § I) ; il peut y en avoir plusieurs pour un même sol : c'est le cas des colluvions superposées à une roche en place, colluvions qui proviennent partiellement de l'érosion de sols situés à l'amont. Il faut enfin remarquer que dans ces sols situés dans des régions à climat semi-aride et subhumide, l'attapulgite n'a jamais été décelée, même dans les encroûtements calcaires les plus puissants.

## V. LES SOLS MINÉRAUX BRUTS ET LES SOLS PEU ÉVOLUÉS

Dans ces massifs montagneux où la pression humaine est forte, l'érosion trouve un terrain favorable. Le phénomène n'est pas encore très généralisé, mais il n'en est pas pour autant négligeable : les exemples de sols écorchés par le décapage en nappe ou le ravinement, de glissements de terrain, de sols enterrés sous des dépôts récents, ne manquent pas. On peut en particulier citer :

- le nettoyage des surfaces karstiques : les sols ne subsistent que dans les poches ;
- le décapage des horizons A<sub>2</sub> appartenant aux sols rouges et bruns méditerranéens sur pélite ou grès ;
- le glissement des horizons B argileux sur les horizons C ;
- le ravinement qui attaque facilement les marnes, les argiles, les grès altérés, les dolérites, les granites ;
- les colluvions récentes qui ennoient les vallons ;

---

### PLANCHE 8

#### ÉROSION ET MIGRATION DES SOLS.

##### 1. Dans les régions de montagnes et de collines

*Photo 1 :* L'érosion des granites altérés, dans les Bni Snassène.

*Photo 2 :* Dans les Bni Snassène, migration vers l'aval des matériaux rouges et argileux provenant des sols rouges fersialitiques développés dans les poches karstiques ; on aperçoit au deuxième plan le karst ayant perdu une grande partie de sa couverture pédologique.

*Photo 3 :* Migration des cailloux sur les pentes (Moyen Atlas).

*Photo 4 :* Petites griffes d'érosion sur un versant (sol calcomagnésimorphe sur marnes : Pré-Rif).

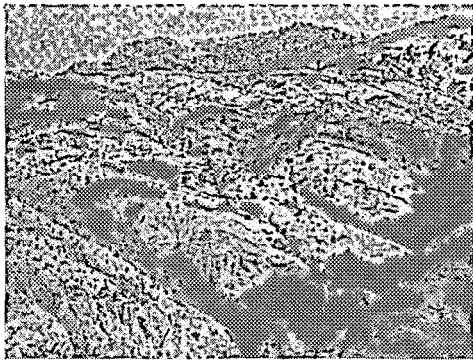
*Photo 5 :* Glissement en masse sur un versant (Triffa).

##### 2. Dans les plaines

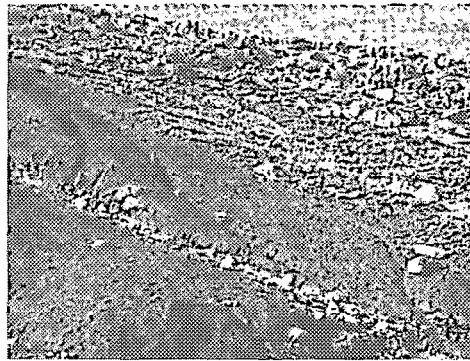
*Photo 6 :* Erosion en nappe.

*Photo 7 :* Griffes d'érosion peu profondes.

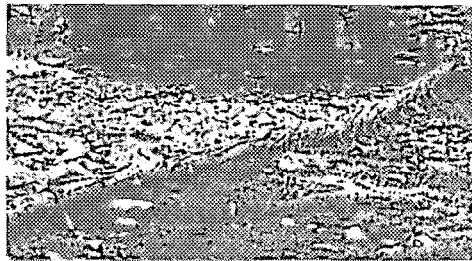
*Photo 8 :* Griffes d'érosion profondes.



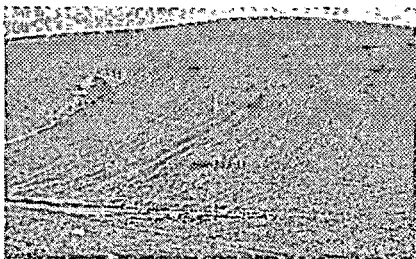
1



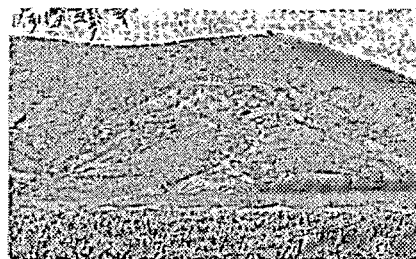
2



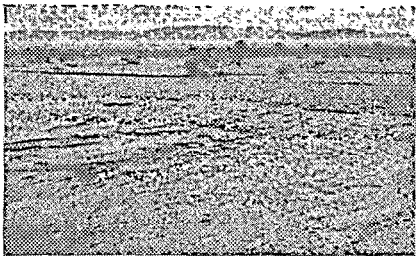
3



4



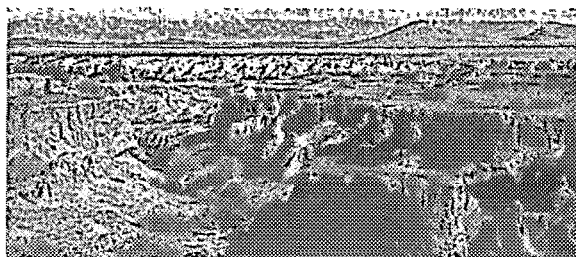
5



6



7



8

— les banquettes alluviales qui, le long des oueds principaux se forment et se détruisent plus ou moins rapidement, au gré des variations de l'importance et de l'intensité des précipitations.

Les photos 1 à 5 de la planche 8 illustrent ces phénomènes qui sont d'autant plus marqués que le climat est plus aride : toute action de l'homme y détruit plus complètement une couverture végétale dont le maintien était probablement déjà précaire.

Parmi les sols peu évolués des Bni Snassène, il est intéressant de souligner la présence en zone subhumide, sous la forêt de chêne-vert plus ou moins dégradée, de sols sur granite altéré que l'on peut rapprocher des rankers : le profil n° 3-5-68-4 en est un exemple (fiche n° 42, tableau XIX).

## VI. CONCLUSIONS

De cette courte étude comparative entre les sols des plaines et ceux des montagnes, se dégagent les conclusions suivantes :

1. Il y a en Basse Moulouya deux types principaux de différenciation pédologique :

— Les sols caractérisés par un profil calcaire plus ou moins bien différencié et un profil textural argileux qui n'est jamais très différencié.

— Les sols caractérisés par un profil argileux très différencié : dans ces sols l'horizon diagnostique n'est plus le Bca mais l'horizon A<sub>2</sub> nettement séparé du Bt par une limite nette ; A<sub>2</sub> et Bt ne sont pas calcaires et l'horizon Bca, s'il existe, se place nettement au-dessous du Bt.

2. Les sols rouges fersiallitiques sur calcaires et dolomies compacts, certains sols rouges fersiallitiques sur pélites et grès et tous les sols calcomagnésimorphes s'inscrivent facilement dans les catégories de sols à profil calcaire plus ou moins bien différencié qui ont été distinguées à la fin de l'étude morphologique des sols de la plaine (chap. 2, § V). Ces sols à profil calcaire sont donc présents dans toutes les zones climatiques de la Basse Moulouya. Des différences existent cependant entre les sols des deux domaines, montagne et plaine : elles résultent principalement des différences climatiques, pétrographiques, géomorphologiques et anthropiques. On note ainsi que :

— Avec l'altitude, les horizons Aca deviennent en moyenne moins calcaires et plus épais, et les encroûtements deviennent moins fréquents et plus durs. Ce sont les conséquences d'une diminution de l'aridité des climats, et d'une modification des roches-mères.

— En dehors des zones les plus arides, les horizons supérieurs des sols montagneux sont plus foncés et leurs structures sont mieux développées, plus fines, plus arrondies que dans les sols de la plaine ; par ailleurs, les teneurs en matière organique sont beaucoup plus élevées, ce qui concorde parfaitement avec la forte densité des enracinements sur une profondeur qui peut atteindre 2 m. Cette répartition apparaît en partie climatique ; c'est le cas, en particulier, de la couleur foncée qui ne se développe, dans les horizons supérieurs de ces sols à profil calcaire, que dans les zones où les précipitations sont supérieures à 350-400 mm. Mais cette répartition est aussi étroitement liée à l'action anthropique et surtout à la mise en culture : dans tous les sols cultivés les horizons supérieurs sont plus clairs, ont des structures moins développées, plus larges, et ont des teneurs en matière organique beaucoup plus faibles.

— La décroissance de la matière organique en fonction de la profondeur est nettement plus rapide dans tous les sols non cultivés des montagnes que dans beaucoup de sols cultivés des zones semi-arides. Il faut cependant se souvenir de deux faits :

en profondeur les teneurs en carbone total sont toujours plus élevées dans les sols de montagne que dans les sols de plaine ;

la courbe de répartition de la matière organique en fonction de la profondeur est à peu près la même dans les sols de montagne et dans les sols cultivés extensivement dans les plaines arides.

Ces deux constatations me permettront de démontrer (chap. 7, § II) que les courbes de répartition comme celles des sols châtaîns des Triffa (courbes 2 et 3 de la figure 21) ne sont pas naturelles : elles sont la conséquence de la mise en valeur ; la courbe naturelle de tous ces sols à profil calcaire est celle des sols non cultivés de la montagne (fig. 34, courbe 1).

— Les proportions d'acides humiques et surtout d'acides humiques gris sont maximums dans les zones semi-arides proches du subhumide ; elles diminuent quand on va vers l'aride ou le subhumide.

— Les pH et les proportions de magnésium sur les complexes adsorbants diminuent quand on monte en altitude.

— Parallèlement, l'altération des minéraux argileux s'accroît. L'attapulgite n'a jamais été décelée dans les massifs montagneux.

3. Les sols à profil argileux très différencié se distinguent des précédents, non seulement par leurs profils calcaires et argileux, mais aussi par :

— Les couleurs plus claires et les structures moins bien développées, moins arrondies, dans les horizons de surface ; en altitude, cependant, l'horizon At peut se subdiviser en A<sub>1</sub> sombre et A<sub>2</sub> s.s. clair.

— Le développement de l'hydromorphie dans les horizons Bt.

— La décroissance très rapide de la matière organique en profondeur ; cette décroissance est d'autant plus rapide que l'A<sub>2</sub> est épais et qu'un A<sub>1</sub> s'individualise en surface.

— Les proportions souvent plus élevées de fer libre par rapport au fer total.

— Une légère saturation du complexe adsorbant et des pH plus faibles (surtout dans les horizons A<sub>2</sub>) : les pH eau sont, en général, encore neutres ou basiques, mais les pH KCl sont franchement acides.

4. A côté de ces deux types principaux de différenciation pédologique, trois autres types de sols ne doivent pas être oubliés :

— Les sols peu évolués d'érosion, surtout fréquents en dehors des plaines.

— Les sols calcaires dès la surface mais ne présentant aucune différenciation calcaire, et les sols non calcaires sans différenciation texturale : ces sols n'existent, dans les plaines et les montagnes, que sur des alluvions ou des colluvions mises en place très récemment.

— Les sols non calcaires, à profil textural différencié mais sans horizon A<sub>2</sub> : ces sols sont ceux de certains bas-fonds et basses terrasses des Triffa et des zones montagneuses ; mais on les connaît également sur les pélites dans des zones suffisamment arides (région de Régada dans les Bni Snassène ; piémont nord des Kbdana).

5. Nous savons que dans les massifs montagneux des facteurs importants de la pédogenèse se modifient quand on va de l'est vers l'ouest (chap. 1, § I) : la proportion des roches calcaires et des roches marneuses augmente, l'altitude moyenne diminue, le climat devient plus aride, la couverture végétale s'appauvrit, l'érosion s'accroît. Il en résulte une modification des associations de sols de l'est vers l'ouest (chap. 4, fig. 27) ; on note surtout que :

— les profondeurs s'amenuisent ;

— les teneurs en matière organique décroissent ;

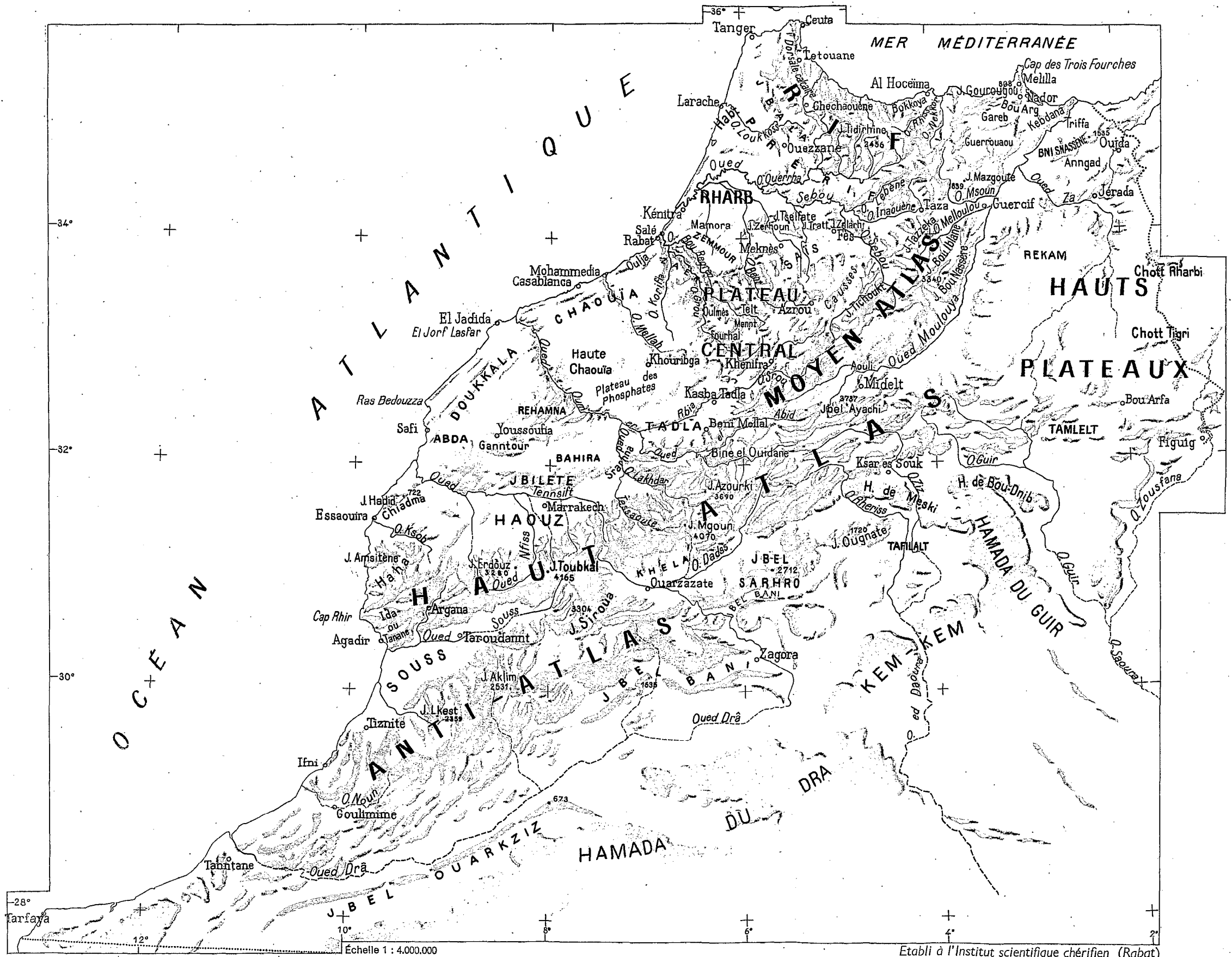
— les horizons A<sub>2</sub> deviennent plus rares ;

— la rubéfaction et la teneur en argile des horizons B texturaux diminuent ;

- le calcaire envahit l'ensemble du profil et les horizons Bca se développent ;
- l'altération des minéraux argileux devient plus discrète ;
- en somme, tous les mécanismes pédogénétiques, sauf l'accumulation du calcaire, semblent s'atténuer et les sols paraissent de moins en moins évolués : on passe d'un domaine essentiellement fersiallitique à un domaine principalement calcomagnésimorphe.

Parallèlement à ces variations est-ouest des paysages montagneux, nous savons déjà que les dépôts quaternaires et les sols se modifient aussi dans les plaines, le sens des variations étant du même ordre (chap. 4, § I et II-A). Ceci met en évidence l'existence probable de relations entre les sols et les mécanismes pédologiques de l'amont et de l'aval ; ce sont ces relations que l'on tentera d'établir en interprétant les faits (chap. 7).





Etabli à l'Institut scientifique chérifien (Rabat)

---

## Les sols à profil calcaire différencié dans les différentes régions du Maroc

Après avoir montré, dans le chapitre précédent, que dans le grand groupe des sols à profil calcaire différencié, on pouvait inclure non seulement les sols isohumiques subtropicaux mais aussi tous les sols calcomagnésimorphes de la Basse Moulouya et une partie des sols fersiallitiques, il est important maintenant d'analyser rapidement, à l'échelle du Maroc, la valeur et l'étendue de ce regroupement, et de situer ce type de différenciation pédologique par rapport à l'ensemble des sols de ce pays, et par rapport aux principaux éléments de son milieu (climats, roches, reliefs, hommes).

Ces sols étant définis et regroupés d'après leurs profils calcaire et textural, il est bon de voir d'abord quels sont, au Maroc, les principaux types de différenciations calcaire et texturale et quelle est leur répartition en fonction du milieu. Ceci doit permettre de dégager la place, par rapport aux autres sols du pays, de ces sols à profil calcaire plus ou moins bien différencié et à profil textural moyennement différencié qui constituent l'objet principal de mon étude. Ceci fait, on pourra étudier rapidement les autres caractères de ces sols dans les principales régions du Maroc.

Cet aperçu sur les paysages pédologiques du Maroc n'est pas seulement le fruit de mes propres observations. Il résulte partiellement des faits publiés dans divers rapports et notes pédologiques dont les références sont fournies. Mais il s'appuie également sur de nombreuses observations qui m'ont été communiquées par les pédologues travaillant au Maroc ; je tiens en particulier à souligner que ce chapitre n'aurait pu être écrit sans toutes les observations que P. BILLAUX, dont la connaissance des sols de ce pays est grande, a bien voulu me communiquer.

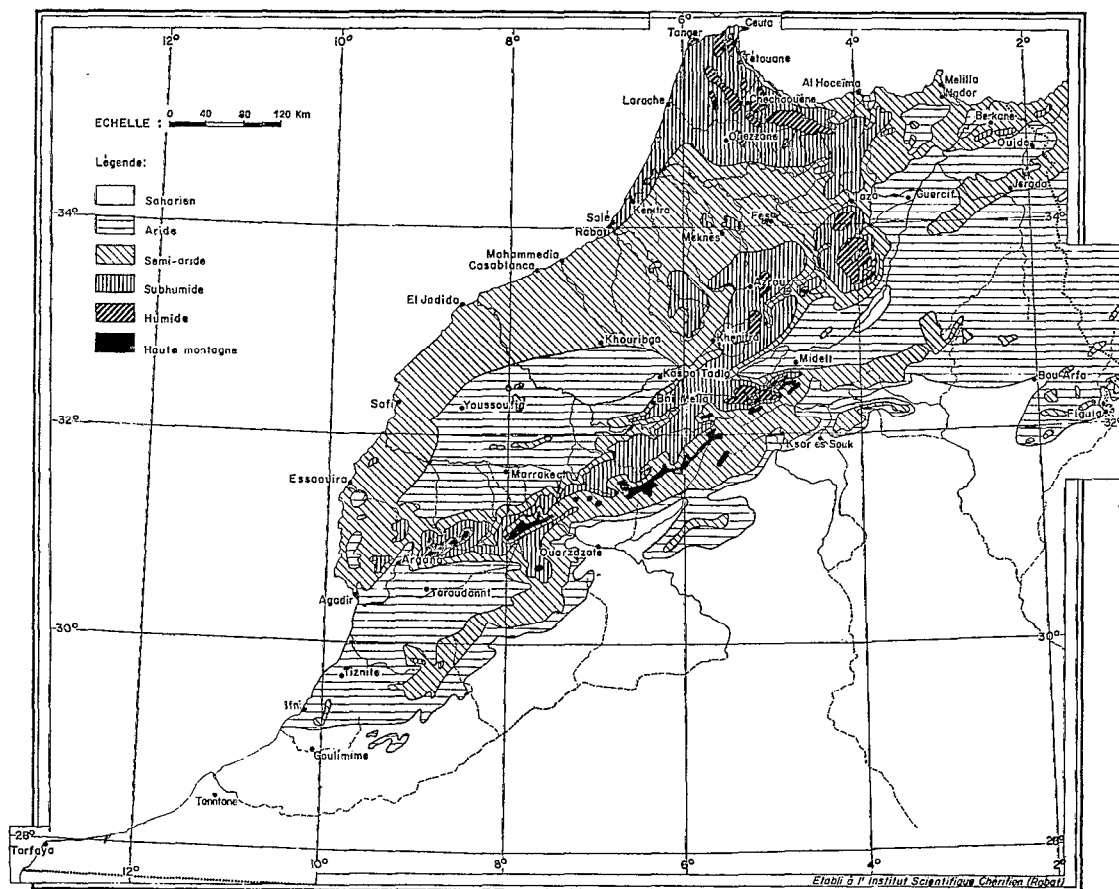


FIG. 39. — Carte des étages bioclimatiques du Maroc.

## I. LES PROFILS CALCAIRES DES SOLS MAROCAINS

Deux domaines doivent être distingués :

- celui des sols à peu près en place sur roches en place ;
- celui des alluvions, des colluvions et des dépôts éoliens fini-tertiaires et quaternaires : c'est dans ce domaine que se placent tous les sols isohumiques de la Basse Moulouya et une grande partie des sols calcomagnésimorphes ; la caractérisation des roches-mères, qui proviennent de l'érosion des sols et des roches du premier domaine, y est difficile (chap. 7, § I).

### A. Les sols en place sur roche en place: différenciation du profil calcaire en fonction des roches et des climats.

1. *Sur calcaires et dolomies compacts*, les observations faites en Basse Moulouya se confirment à l'échelle du Maroc :

— Les phénomènes karstiques existent dès les zones sahariennes ; on y retrouve l'essentiel des formes décrites par CONRAD, GEZE et PALOC (1967). Dans les poches karstiques, les sols sont à profil calcaire bien différencié : horizon Bca à amas friables et nodules ; les encroûtements sont rares, sauf les pellicules de croûtes et les pellicules rubanées qui collent à la roche. L'horizon Aca reste toujours calcaire.

— Les sols à horizon Aca non ou peu calcaire, apparaissent dans des régions qui sont à la limite de l'aride et du semi-aride<sup>1</sup>. MASSONI (1967), par exemple, a décrit dans les Bni-Amir, le long de l'Oum-er-Rbia, des sols rouges méditerranéens sur calcaire : c'est une région aride à hiver assez frais (précipitations moyennes : 300-350 mm). Dans ces sols cependant, il y a toujours un peu de calcaire presque dès la surface. Ces sols existent également dans certaines zones arides et fraîches de l'Anti-Atlas.

— Les sols à horizon Aca épais et non calcaire, se généralisent dans les régions semi-arides et subhumides. Dans l'horizon Bca, les concentrations en nodules se développent ; on atteint souvent le stade de l'encroûtement nodulaire, mais les croûtes sont rares. La profondeur moyenne du sommet de cette accumulation augmente quand on va du semi-aride vers le subhumide et l'humide : c'est dans les régions humides, du Moyen Atlas et du Rif par exemple, que les sols sans horizon Bca se généralisent dans les mêmes conditions que celles décrites par LAMOUREUX au Liban (1967, 1968).

2. *Sur marnes*, les profils calcaires varient beaucoup en fonction des types pétrographiques (dureté, teneur en calcaire, texture) et des situations topographiques ; de ce fait, il est plus difficile de faire ressortir les zonalités climatiques. Ces zonalités existent cependant :

— Les sols à profil calcaire différencié ou très différencié existent dès les zones sahariennes ; étant donné la vigueur de l'érosion, ils y sont cependant assez rares.

— Les encroûtements calcaires sont fréquents dans les zones arides et semi-arides ; mais le durcissement diminue quand on va vers l'humide. Dans les régions subhumides et humides, les horizons Bca sont le plus souvent à gros amas calcaires : les encroûtements non feuilletés et surtout les croûtes sont rares.

— Dans les régions semi-arides, des sols à horizons Aca non calcaires peuvent exister sur les roches assez dures, peu argileuses ou peu calcaires. Mais ces sols ne se généralisent sur des marnes plus tendres, plus calcaires ou plus argileuses que dans les régions subhumides et humides (voir par exemple les sols calciques mélanisés décrits par DURAND, 1969, dans la région de Ouezzane).

Entre les calcaires compacts et les marnes, les faciès intermédiaires sont nombreux : les profils calcaires se modifient nettement en fonction de ces faciès. En résumé, on peut dire que plus la roche est dure, ou d'altération lente, ou perméable, plus la formation d'un horizon Aca peu ou non calcaire est possible en des régions plus arides.

3. *Certains grès calcaires* très durs se comportent comme des calcaires et dolomies compacts : la zonalité climatique des profils calcaires y est comparable ; la décarbonatation profonde des sols, la disparition de tout horizon Bca des poches karstiques se font cependant à partir de régions plus arides.

Sur les autres grès, moins consolidés, les horizons Aca non calcaires n'apparaissent qu'à partir de zones nettement semi-arides. Par exemple, le long de la côte atlantique, les sols rouges sur grès calcaires ne deviennent abondants qu'au nord d'El Jadida. Ils se développent ensuite assez vite

1. Les étages bioclimatiques sont ceux définis par EMBERGER (1955) d'après le quotient pluviothermique. La carte de ces étages au Maroc, d'après BRIGNON et SAUVAGE (1963), est donnée dans la figure 39. Les correspondances approximatives entre ces étages bioclimatiques et les précipitations moyennes annuelles des pluies sont les suivantes :

- humide : plus de 900-1 000 mm ;
- subhumide : 500-700 à 900-1 000 mm ;
- semi-aride : 300-400 à 500-700 mm ;
- aride : 150-180 à 300-400 mm ;
- saharien : moins de 150-180 mm.

quand on va vers l'humide où ils peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseur. Par ailleurs, les encroûtements se forment facilement dans ces grès, dans presque toutes les zones climatiques : c'est en particulier un milieu très favorable aux croûtes. Les encroûtements disparaissent cependant dans les milieux trop humides, au-delà de 650 mm environ.

Il est enfin intéressant de noter que les divers types d'horizons Bca sont toujours moins calcaires dans les sols développés sur grès quartzeux ou quartzo-calcaires que dans les sols développés sur d'autres roches. Ceci provient de la forte proportion de sables quartzeux qui y restent inclus. Par exemple, un encroûtement massif typique peut n'avoir que 40% de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .

4. *Sur les roches non calcaires et pauvres en calcium*, telles la plupart des pélites, certains grès et argilites et certaines roches éruptives et volcaniques, les sols à profil calcaire différencié ou encroûté sont fréquents partout où une source importante de calcaire ou simplement de calcium est présente en amont. Cependant, la distance maximum jusqu'à laquelle on peut trouver ces sols par rapport à la source de calcaire, diminue quand on va des zones arides vers les zones humides : elle ne dépasse pas quelques dizaines de mètres en région subhumide alors qu'elle atteint plusieurs kilomètres en pays arides et sahariens (chap. 7, § IV-C-1).

En l'absence d'un amont calcaire, ou calcique, les sols à profil calcaire différencié n'existent jamais sur ces roches. Tout juste peut-on constater, en régions sahariennes, la présence dans les sols de quelques traces de calcaire dont l'origine peut être éolienne.

5. *Sur les roches non calcaires et riches en calcium*, les sols à profil calcaire différencié ou très différencié, à horizon Aca calcaire ou non, sont fréquents dans les pays sahariens et arides. Ils disparaissent rapidement dès que l'on aborde les zones semi-arides, à moins de se trouver à proximité d'une source de calcaire. On peut ainsi citer les sols encroûtés sur les basaltes de la région d'Oujda ou sur ceux de Foum-el-Kouss près de Tinerhir (Anti-Atlas) et les sols à profil calcaire différencié sur certains granites de l'Anti-Atlas.

## B. Les sols sur alluvions, colluvions et formations éoliennes fini-tertiaires et quaternaires.

1. *L'horizon Bca* existe dans toutes les régions du Maroc, mais il se modifie en fonction des données climatiques ; les modifications concernent surtout sa morphologie, sa puissance, sa profondeur et la façon dont tout ceci varie en fonction du relief.

Par rapport aux plaines de la Basse Moulouya, on peut résumer l'essentiel des faits de la façon suivante :

a. Partout, l'accumulation du calcaire s'accroît parallèlement à l'âge des surfaces.

b. Quand on va vers des régions plus humides que la Basse Moulouya :

— L'accumulation et l'individualisation du calcaire se développent de mieux en mieux dans les sols situés sur les dépôts récents, du Rharbien et du Soltanien ; les encroûtements restent cependant rares.

— Sur les dépôts plus anciens, les sols à encroûtement non feuilleté prennent de l'extension dans les régions semi-arides, puis se raréfient dans le subhumide et l'humide ; la dureté des nodules atteint également son meilleur développement dans les pays semi-arides où, d'une façon générale, les horizons Bca sont plus épais que dans les autres régions climatiques. Par contre, on constate que dans l'ensemble, dès que l'on va vers des zones plus humides que les Triffa, les encroûtements sont moins feuilletés et moins durs : les croûtes et les dalles sont rares dans les contrées subhumides et humides.

— La profondeur moyenne du sommet de l'horizon Bca augmente un peu : de 50-60 cm dans les Triffa semi-arides, on passe à 70-80 cm dans les zones subhumides.

— Dans les plaines et les vallées dominées par des régions où les roches calcaires ou calciques

sont abondantes, les sols entièrement non calcaires, sans horizon Bca, sont de plus en plus fréquents quand on va vers l'humide.

c. Inversement, quand on se dirige vers des régions plus arides que la Basse Moulouya, on constate les faits suivants :

— Sur les dépôts récents, l'accumulation et l'individualisation du calcaire dans les sols diminuent ; dans les zones présahariennes, les profils y sont généralement non ou peu différenciés.

— Sur les dépôts plus anciens, les horizons Bca diminuent un peu d'épaisseur, se rapprochent de la surface et sont de plus en plus souvent des encroûtements, des croûtes surtout qui sont très fréquentes dans les régions à climat saharien.

— Le gypse s'associe souvent au calcaire dans les horizons Bca. Sur les niveaux récents l'accumulation et l'individualisation peuvent être entièrement gypseuses.

— Les sols non calcaires sont progressivement éliminés de tous les bassins versants où des roches calcaires ou calciques sont présentes : dans les zones pré-sahariennes, les sols non ou très peu calcaires n'existent que dans les bassins versants taillés dans des roches pauvres en calcium.

d. Partout, la morphologie, la puissance et la profondeur de l'horizon Bca se modifient en fonction de la topographie de détail comme cela a été décrit en Basse Moulouya (chap. 4, § II-C).

2. *L'horizon Aca* peut être calcaire ou non calcaire dans toutes les régions climatiques du Maroc ; comme en Basse Moulouya, l'origine des matériaux apparaît fondamentale : partout les sols à horizon Aca peu ou non calcaire (et les sols entièrement non calcaires) sont plus fréquents dans les vallées et les plaines situées à l'aval de zones où soit les roches, soit les sols sont non calcaires.

Mais d'une façon générale on constate aussi qu'en moyenne, les teneurs en calcaire des horizons Aca diminuent, et ceci sur une épaisseur croissante, quand on va des zones arides vers les zones humides.

Comme en Basse Moulouya, cette zonalité climatique de la teneur en calcaire (et de l'épaisseur) des horizons Aca n'apparaît nettement que sur des dépôts ayant déjà un certain âge (Soltanien récent), mais elle reste ensuite la même sur les dépôts plus anciens : dans une région donnée et sur un matériau donné, contenant du calcaire, la décarbonatation de l'horizon Aca s'accroît quand on passe des niveaux subactuels à ceux du Rharbien ancien ou du Soltanien récent ; mais cette décarbonatation n'augmente pas sur les niveaux plus anciens, quelle que soit l'importance de l'horizon Bca qui, lui, continue à se développer ; elle a même tendance à rediminuer sur les niveaux où les encroûtements prennent de l'importance.

3. *L'horizon C* : dans l'ensemble du Maroc, la teneur et la morphologie du calcaire dans les dépôts fini-tertiaires et quaternaires varient en fonction de plusieurs facteurs :

— l'importance, la distribution et la dynamique du calcium dans les roches et les sols des bassins versants d'où proviennent les matériaux et les solutions ; les dépôts sont ainsi plus ou moins calcaires lors de leur mise en place et ils sont ensuite plus ou moins recalcarisés par la circulation des eaux (chap. 7, § I et IV) ;

— le relief, général et de détail, qui conditionne en partie l'importance et les mouvements des eaux souterraines (chap. 7, § IV) ;

— l'âge et la pétrographie des formations : la densité et la morphologie des inclusions en dépendent (chap. 2, § I-B) ;

— les climats qui règnent dans les bassins versants et dans les plaines : dans les pays sub-humides, les matériaux pédologiques transportés dans les plaines sont plus souvent peu ou non calcaires que dans les zones arides, mais les solutions qui peuvent recalcariser sont aussi plus abondantes.

## C. Conclusions.

De cette étude rapide de la différenciation du profil calcaire dans les sols des diverses régions marocaines, il faut retenir les faits suivants :

— Tous les aspects des profils calcaires varient surtout en fonction des roches et des matériaux : ceux dans et sur lesquels les sols sont aujourd'hui situés, mais aussi tous ceux que l'on trouve dans les paysages d'amont. Les caractères de ces roches et matériaux qui influencent les profils calcaires sont surtout ceux qui règlent la vitesse d'altération des roches, la richesse en calcaire et en calcium, la texture et la perméabilité avant et pendant l'altération. Il faut en particulier souligner que les sols à profil calcaire n'existent sur les matériaux non calcaires que s'il y a des roches calcaires ou riches en calcium dans les bassins versants qui les dominent : l'importance des apports éoliens paraît limitée, même dans les régions les plus arides (chap. 7, § I et IV).

— L'influence du relief est également importante : ce qui a été décrit en Basse Moulouya se confirme à l'échelle du Maroc.

— Partout où les études géologiques et géomorphologiques du Quaternaire permettent de distinguer des dépôts et des formes d'âges différents, on constate, d'une part, que les horizons Bca sont d'autant plus développés que les surfaces où on les trouve sont plus anciennes, d'autre part, que, hormis les sols sur dépôts récents, les horizons Aca ne se modifient pas avec l'âge des surfaces.

— L'importance de la différenciation des profils calcaires semble donc surtout liée à l'âge des sols et il est vrai que des sols à profils calcaires peu différencié, moyennement différencié et très différencié existent dans toutes les zones climatiques. Le développement et la morphologie des profils calcaires ne sont cependant pas indifférents aux climats actuels :

les sols calcaires sont d'autant plus fréquents que le pays est plus aride et il faut en particulier souligner que l'influence d'un amont calcaire pour le développement de sols à profil calcaire sur des matériaux non calcaires se fera sentir d'autant plus loin que le climat est plus aride ;

la morphologie, la puissance et la profondeur des horizons Bca se modifient avec les climats : l'épanouissement des encroûtements calcaires feuilletés dans les zones arides en est l'exemple le plus frappant (bassin de la Moulouya, plaines du Haouz et du Souss) ;

mais c'est, en fait, surtout l'horizon Aca, insensible au vieillissement, qui se modifie parallèlement aux climats : dans des conditions identiques de roches-mères et de relief, on constate toujours que son épaisseur augmente et que sa teneur en calcaire diminue quand on s'éloigne des régions arides.

## II. LES PROFILS TEXTURAUX DES SOLS MAROCAINS

En ce qui concerne tout d'abord la texture globale des sols, il est possible, dans toutes les régions du Maroc, de multiplier les exemples confirmant les observations faites en Basse Moulouya : partout, les sols à horizons peu ou très différenciés, paraissent développés dans des matériaux homogènes ; mais partout aussi, les traces de petits remaniements locaux sont la règle, aussi bien en zones alluviales et colluviales que dans des sols considérés comme développés en place sur des roches en place. Ces remaniements se traduisent par des concentrations de cailloux dans les horizons de surface, par des cailloutis localisés, par des déformations d'horizons, plus rarement par des horizons organiques enterrés, par l'épaississement ou l'amincissement des horizons, etc.

Pour ce qui est du profil textural argileux, on peut, à l'échelle du Maroc, distinguer, comme en Basse Moulouya, trois types de profils :

- non différencié ;
- moyennement différencié ;
- très différencié : il y a un horizon A<sub>2</sub> nettement séparé d'un horizon B.

1. *Les sols à profil textural non différencié* sont plutôt rares.

— C'est le cas de certains sols développés sur des surfaces très jeunes : ils y sont d'autant plus fréquents que le matériau est plus calcaire et le milieu plus aride.

— C'est également le cas de beaucoup de vertisols, fréquemment associés aux sols à profil calcaire différencié (Rharb, T'adla, Doukkala, Saïs, etc.), surtout si ces vertisols sont calcaires dès la surface.

— On les retrouve aussi sur les marnes : ce sont soit des sols soumis fréquemment à l'érosion, soit des sols à caractères vertiques plus ou moins développés.

2. *Les sols à profil textural très différencié* n'apparaissent que dans des milieux où le calcaire est absent ou facilement lessivé en profondeur :

— On ne les trouve jamais ni sur les calcaires et dolomies compacts ni sur les marnes et calcaires marneux.

— Ils sont également absents des roches volcaniques riches en calcium : en milieu aride nous avons vu que ces sols sont à profil calcaire, donc à profil textural moyennement différencié ; quand on va vers des régions semi-arides et subhumides, le calcaire disparaît des horizons supérieurs et même souvent de la totalité du sol ; mais parallèlement, l'altération des roches s'accélère, et selon les conditions de climat, de roche et de relief, des caractères vertiques ou andiques se développent, s'opposant, semble-t-il, à la formation d'un horizon  $A_2$ .

— Ils se développent fréquemment sur les grès et d'autant mieux que le milieu est à la fois moins riche en calcaire et plus humide. Sur grès non calcaire, on peut les trouver dans des domaines arides ; sur grès calcaire, ils n'apparaissent que dans les sols où le calcaire a été éliminé jusqu'à 1 m de profondeur au moins : ceci n'existe qu'à partir des domaines semi-arides. Vers les régions subhumides, ces horizons  $A_2$  se différencient de mieux en mieux en deux niveaux : un  $A_1$  qui s'assombrit et un  $A_2$  s.s. qui s'éclaircit ; la podzolisation fait même son apparition. Dans les horizons Bt de ces sols sur grès, les revêtements argileux peuvent être bien développés.

— Sur toutes les roches pauvres en calcium, et en particulier sur les pélites, fréquentes au Maroc, et sur les granites, les sols à profil textural très différencié apparaissent, comme en Basse Moulouya, dans des milieux encore assez arides, à partir de 400 mm de pluviosité environ. Dans certaines régions, ces sols existent même sous des climats nettement arides : c'est le cas de l'Anti-Atlas. Dans les domaines subhumides et humides, la base de l'horizon  $A_2$  peut être de couleur très claire. Bien entendu, comme en Basse Moulouya, toute pollution en calcaire, tout excès en calcium, dus par exemple à la présence d'un amont calcaire, s'accompagnent de la disparition de ces sols à horizon  $A_2$ . Il faut par ailleurs souligner que, dans les sols sur pélites, les revêtements argileux visibles sur le terrain sont en général peu développés.

— Enfin, sur les plateaux qui longent la côte atlantique du Maroc, depuis le Rif jusqu'à l'Atlas, ces sols sont fréquents sur les formations, non calcaires en surface, du Quaternaire ancien et moyen : c'est le cas, par exemple, des sols sur les formations rouges, argilo-sableuses (à kaolinite), du Loukkos, de la Mamora, des Zaer et de la Chaouia (Merzag d'Ellouizia, par exemple : WILBERT, 1962 a et b) et des « sols ensablés » des Doukkala (WILBERT, 1960, 1962 a). Dans tous ces sols le calcaire n'apparaît jamais à moins d'un mètre de profondeur : il est souvent absent sur plusieurs mètres d'épaisseur. Le développement des revêtements argileux dans les horizons Bt y est variable.

Au sujet de ces sols à profil textural très différencié, il faut encore remarquer les faits suivants :

— On ne retrouve jamais dans l'horizon Bt sous-jacent la totalité de l'argile qui « manque » dans l'horizon  $A_2$ . Il est même fréquent qu'il n'y ait pas plus d'argile dans le B que dans le C.

— Les deux types de différenciation distingués par BOCQUIER dans les sols ferrugineux tropicaux (1967) existent dans ces sols : sols dans lesquels la teneur en argile de l'horizon  $A_2$  augmente du haut vers le bas et sols dans lesquels cette teneur diminue, la limite inférieure de l'horizon  $A_2$  étant alors particulièrement nette ; les sols de ce deuxième type sont fréquents sur les plateaux des régions atlantiques.

— L'hydromorphie se développe facilement dans ces sols : il s'agit de phénomènes, plus ou



moins intenses, de pseudo-gley dans les horizons B, d'individualisation et de concrétionnement du fer dans les horizons A et B. Assez rares en milieu aride (surtout dans l'horizon A), ces phénomènes prennent de l'extension dans les milieux semi-arides et subhumides où le concrétionnement du fer va assez fréquemment jusqu'à la formation de carapaces (merzag, kercha).

— Dans certaines conditions, encore mal connues, un petit horizon blanchâtre, de quelques millimètres à quelques centimètres d'épaisseur, se différencie au sommet de l'horizon B ; cet horizon est généralement ondulé et une structure en colonne rappelant celle des solonetz peut se développer au sommet de cet horizon B (Doukkala).

— Sur les plateaux semi-arides et subhumides des plaines atlantiques, ces sols sont souvent associés soit à des sols très hydromorphes, soit à des vertisols qui se développent dans des zones plus ou moins déprimées.

En fait, l'ensemble de ces sols à profil textural très différencié, dont on a souvent pensé qu'ils étaient le résultat de dépôts sédimentaires superposés, est encore mal connu. Ces sols couvrent pourtant dans l'ensemble du Maroc, de vastes surfaces : à côté des sols caractérisés par un profil calcaire plus ou moins bien différencié, ils constituent le type de différenciation pédologique le plus fréquent et qui apparaît chaque fois que les conditions pétrographiques, climatiques et topographiques permettent un certain déficit en calcium dans les horizons superficiels du sol : c'est là un fait essentiel à retenir dans le cadre de cette étude. Mais il est aussi intéressant de souligner le rapprochement que l'on est tenté de faire entre, d'une part, les paysages géomorphologiques et pédologiques des plateaux atlantiques du Maroc, où les sols à profil textural très différencié, hydromorphes à pseudo-gley et concrétions ferrugineuses, s'associent fréquemment à des sols hydromorphes et à des vertisols, et, d'autre part, certaines régions à sols ferrugineux tropicaux plus ou moins hydromorphes, solonetz solodisés et vertisols, décrites en Afrique tropicale.

### 3. *Les sols à profil textural moyennement différencié se regroupent en trois catégories :*

#### a. *Les sols non calcaires :* sur des roches non calcaires, il peut s'agir :

- de sols situés en milieu aride ;
- de sols développés en milieu semi-aride sur des roches non calcaires mais fournissant des quantités importantes de calcium (des basaltes, par exemple : en milieu aride les sols sont à profil calcaire et en milieu, topographique ou climatique, plus humide on trouve, selon les types de basalte et les conditions de drainage, des sols à caractères vertiques ou andiques) ;
- de sols développés à proximité d'un amont fournissant du calcium (cet amont aura d'autant plus d'influence que le climat est plus aride) ;
- de sols à caractères vertiques ou andiques ;
- de sols développés dans des formations alluviales ou colluviales non calcaires mises en place récemment ;
- de sols à profil textural très différencié mais qui ont été soumis depuis peu à l'érosion, en général du fait de l'action de l'homme.

Sur roches calcaires, ces sols n'existent que sur les calcaires et dolomies compacts, en milieu subhumide ou humide : ce sont les sols rouges méditerranéens entièrement décarbonatés et sans horizon d'accumulation du calcaire, comme ceux décrits par LAMOUREUX au Liban, et que l'on retrouve souvent dans les Atlas et le Rif.

b. *Les sols calcaires, mais à profil calcaire non différencié :* ces sols sont rares ; on peut en trouver sur des surfaces très récentes, la différenciation se limitant à une teneur en argile un peu plus faible dans les centimètres supérieurs du sol.

c. *Les sols à profil calcaire différencié (peu, moyennement ou très) :* ce sont les sols décrits en détail dans les chapitres précédents consacrés aux plaines et aux montagnes de la Basse Moulouya et il y a peu de choses à ajouter, dans le cadre de ce chapitre. Il faut cependant souligner l'importance des surfaces couvertes dans l'ensemble du Maroc par ces sols à profil calcaire différencié et à profil textural moyennement différencié :

— il s'agit de presque tous les sols calcomagnésimorphes, de presque tous les sols isohumiques, d'une grande partie des sols fersiallitiques sur calcaires et dolomies compacts, d'une partie des sols fersiallitiques sur grès et roches non calcaires, d'une partie des vertisols ;

— ces sols sont donc présents dans toutes les régions climatiques du Maroc et il faut remarquer que la différenciation texturale qui s'exprime par la présence d'un horizon At plus pauvre en argile que l'horizon C et d'un horizon Bt au contraire plus riche, est un phénomène généralisé jusque dans les régions arides et pré-sahariennes du Maroc ; à peine peut-on remarquer, quand on aborde ces régions, que cette différenciation texturale est un peu moins accentuée qu'elle se développe plus mal sur les dépôts récents, du Rharbien et du Soltanien ; mais sur les surfaces du Quaternaire moyen il y a toujours, sous la pellicule de reg caillouteux, des sols à profils calcaire et textural bien différenciés.

### III. LES PRINCIPALES CATÉGORIES DE DIFFÉRENCIATION PÉDOLOGIQUE D'APRÈS LES PROFILS CALCAIRES ET TEXTURAUX

Après cette étude sommaire de la typologie et de la répartition des profils calcaires et texturaux des sols du Maroc, en fonction des principaux éléments du milieu, la place de ce que j'appelle les sols à profil calcaire différencié dans l'ensemble pédologique marocain se dégage plus clairement.

Si on laisse de côté les sols fortement marqués par des caractères vertiques ou andiques (les caractères morphologiques et analytiques de ces sols sont suffisamment originaux pour que l'on soit amené à les distinguer), si on laisse également de côté tous les sols dits minéraux bruts, c'est-à-dire toutes les surfaces où affleurent des roches non ou très peu affectées par la pédogenèse, les sols du Maroc se répartissent dans les catégories suivantes :

#### 1. Sols à profil textural non différencié :

a. *Sols à profil calcaire non différencié* : ils sont situés sur des surfaces jeunes ; ce sont généralement, dans la classification française d'AUBERT (1965 a et b), des sols peu évolués d'érosion ou d'apport, ou des sols subdésertiques.

b. *Sols à profil calcaire peu ou moyennement différencié* : c'est le cas de certains sols calcomagnésimorphes sur marnes.

2. *Sols à profil textural très différencié* : présence d'un horizon A<sub>2</sub>, nettement moins riche en argile que C et dont la limite inférieure le séparant d'un B textural ou structural est très nette, brutale. Cet horizon A<sub>2</sub> peut être simple, et il est alors en général de couleur claire ; ou subdivisé en A<sub>1</sub> organique et sombre et A<sub>2</sub> s.s. qui devient très clair. Ces sols sont, selon les cas, actuellement classés dans les catégories suivantes :

- sols isohumiques ensablés ;
- sols à mull, lessivés ;
- sols podzoliques ;
- sols rouges et bruns méditerranéens lessivés ;
- sols hydromorphes, quand les phénomènes d'hydromorphie à la base du A ou dans le B

sont très développés.

On peut distinguer deux groupes de sols :

#### a. Les sols non calcaires.

b. *Les sols à profil calcaire différencié (peu, moyennement ou très)* : il y a un horizon Bca, mais le calcaire n'apparaît dans le sol qu'à plus d'un mètre de profondeur.

3. *Sols à profil textural moyennement différencié* :

a. *Sols non calcaires* : cela peut être des sols peu évolués, d'érosion, d'apport ou d'origine climatique, des sols à mull, des sols fersiallitiques méditerranéens sur roches non calcaires, ou sur calcaires et dolomies compacts.

b. *Sols à profil calcaire différencié (peu, moyennement ou très)* : ce sont presque tous les sols isohumiques, point de départ de mon étude, auxquels viennent se joindre la plupart des sols calco-magnésimorphes, une partie des sols fersiallitiques méditerranéens et quelques sols hydromorphes (hydromorphie de nappe, en général) ; ce sont ces sols dont l'étude va être terminée dans les paragraphes suivants.

#### IV. QUELQUES DONNÉES MORPHOLOGIQUES ET ANALYTIQUES COMPLÉMENTAIRES SUR LES SOLS DU MAROC A PROFIL CALCAIRE DIFFÉRENCIÉ ET PROFIL TEXTURAL MOYENNEMENT DIFFÉRENCIÉ

##### A. Le profil des couleurs.

Trois aspects de ce profil se modifient à travers le pays :

- la coloration rouge de l'ensemble du sol, et surtout de l'horizon B ;
- l'assombrissement de l'horizon de surface et, dans certains cas, d'une partie de l'horizon B ;
- les couleurs de l'hydromorphie.

1. *La coloration rouge* : elle se modifie surtout en fonction des roches et des climats.

— Sur calcaires et dolomies compacts, la rubéfaction se développe parallèlement à la décarbonatation ; les couleurs inférieures à 5 YR apparaissent dans des régions qui sont à la limite de l'aride et du semi-aride (Tadla, Haouz, Rehamna, Anti-Atlas occidental) et se généralisent dans les zones semi-arides. En allant vers des zones plus humides, on voit les sols rouges s'associer progressivement à des sols bruns (5 et 7,5 YR), dans des conditions voisines de celles décrites par LAMOUROUX au Liban (1968).

— Sur les marnes, la coloration rouge, inférieure à 5 YR, ne se développe jamais (à moins que la marne soit elle-même rubéfiée : Trias et Crétacé par exemple) ; il suffit, pour s'en convaincre, de parcourir le Pré-Rif ou de rouler entre Fès et Taza : les limites entre les calcaires et les marnes ressortent très nettement d'après la coloration des sols.

— Entre les calcaires compacts et les marnes, les faciès intermédiaires sont nombreux, et la rubéfaction des sols en dépend. Dans l'ensemble, cette rubéfaction semble d'autant plus facile que l'altération de la roche est plus lente et le milieu plus drainant.

— Sur les grès calcaires, la rubéfaction se développe à peu près comme sur les calcaires et dolomies compacts. Elle se manifeste dans des milieux d'autant plus arides que l'altération de la roche est plus lente. Dans les domaines semi-arides et subhumides, les horizons A<sub>2</sub> prennent progressivement de l'importance : la coloration rouge des horizons A et B a tendance à s'atténuer en fonction du développement de l'A<sub>2</sub> et de l'hydromorphie.

— Sur les grès non calcaires, les sols rouges apparaissent dans des zones très arides ; on les connaît même sous climat saharien (région de Agdz, dans l'Anti-Atlas).

— Sur les granites, la rubéfaction semble liée à l'aridité : elle est très nette dans l'Anti-Atlas sur les surfaces anciennes. Elle est par contre absente des zones semi-arides et subhumides (sauf dans les régions où l'on retrouve, sous une couverture triasique, de vieilles altérations rouges : c'est le cas, semble-t-il, des Bni Snassène).

— Sur les schistes, pauvres en calcium, la rubéfaction apparaît dans des zones nettement arides :

rouge très clair dans les régions les plus arides ;

rouge plus foncé dans les régions situées à la limite de l'aride et du semi-aride : c'est à peu près la même couleur que celle des sols sur calcaire compact, avec, quelquefois, des nuances plus pourpres (rappelant les teintes du Trias) ;

rouge qui, dans l'horizon Bt, s'éclaircit de nouveau quand on s'approche des domaines subhumides ou qui cède la place à des couleurs plus brunes : l'éclaircissement est d'autant plus marqué que le milieu est moins calcique et la brunification est d'autant plus accentuée que le milieu est moins drainant ; parallèlement, l'horizon A<sub>2</sub> se développe : il est toujours de couleur brune (5 ou 7,5 YR)

— Sur les basaltes, le domaine des sols rouges est assez limité : en milieu aride, les sols sont calcaires et la couleur ne descend pas au-dessous de 5 YR ; en milieu subhumide ou mal drainé, les phénomènes andiques ou vertiques favorisent la brunification et le noircissement ; ce n'est en somme que dans les domaines semi-arides que la rubéfaction est bien développée sur les roches basaltiques.

— Les roches rouges ne manquent pas au Maroc : argilites, grès, marnes, etc. ; Trias, Crétacé, Tertiaire. La zonalité climatique de la rubéfaction des sols est donc souvent faussée.

— Sur les alluvions et les colluvions fini-tertiaires et quaternaires, la rubéfaction des sols est essentiellement liée à l'origine des matériaux : ces matériaux proviennent de l'érosion de roches et de sols plus ou moins rouges, et les sols en épousent la couleur ; les phénomènes de rubéfaction après mise en place des dépôts semblent limités. Il faut cependant nuancer cette affirmation :

les formations les plus anciennes, datées classiquement du Villafranchien, sont fortement et profondément rubéfiées dans les zones atlantiques semi-arides et subhumides ; elles le sont beaucoup moins ailleurs, et d'autant moins que l'on se rapproche des régions arides continentales ;

partout au Maroc, les dépôts très récents, du Rharbien, sont souvent peu ou non rubéfiés, quelle que soit l'origine des matériaux ;

dans les zones très arides et pré-sahariennes, les formations et les sols rubéfiés sont rares sur les surfaces récentes : on les trouve surtout au niveau du Quaternaire moyen et ancien.

Les sols rouges sont donc possibles dans toutes les régions climatiques du Maroc. Il apparaît cependant nettement que le domaine « idéal » de la rubéfaction se situe en région semi-aride : à part les marnes et, peut-être, certains granites, toutes les roches peuvent y porter des sols rouges, à couleur inférieure à 5 YR. Quand on se dirige vers l'aride, cette rubéfaction se fait rare sur les roches trop riches en calcium ; quand on va vers l'humide, ce sont au contraire les sols pauvres en calcium qui sont de moins en moins souvent rubéfiés.

2. *L'assombrissement des horizons de surface* varie surtout en fonction des zones climatiques. On peut, dans l'ensemble du pays, distinguer les domaines suivants, qui ne concernent que les sols à profil calcaire différencié et profil textural moyennement différencié :

— Le domaine des sols à At sombre : la couleur est celle du « mollic epipedon », c'est-à-dire inférieure à 3,5/3,5. Ce domaine se situe à peu près entre 400 et 800 mm de précipitations moyennes : il correspond donc à la majeure partie des zones semi-arides et subhumides. En fait, les limites varient un peu en fonction des roches-mères.

— Le domaine des sols à At clair et très clair en zones arides et sahariennes : en fait ce domaine, nous l'avons vu en Basse Moulouya, déborde dans les régions les plus sèches des zones semi-arides.

— Le domaine des sols à At clair en zones humides.

Quelques précisions sont importantes :

— Le développement des caractères vertiques ou andiques s'accompagne presque toujours d'un noircissement plus accentué et plus profond des sols.

— En zone aride, une forte hydromorphie liée par exemple à une nappe proche de la surface, voire affleurante de temps en temps, s'accompagne souvent d'un noircissement important des horizons At.

— Dans les zones climatiques où on est à la limite de l'apparition des At sombres, la présence d'un encroûtement calcaire favorise son développement. Les études de MASSONI dans le Tadla (inédit) font clairement ressortir cette influence. Dans ces régions sa présence est également plus fréquente dans les zones légèrement déprimées où l'eau de pluie se concentre par ruissellement.

— Dans le domaine des sols à At sombre, cet horizon At s'éclaircit dès qu'il prend la morphologie d'un A<sub>2</sub> nettement séparé d'un Bt : ceci correspond, rappelons-le à un milieu déficitaire en calcium. Cependant, dans les zones climatiques particulièrement favorables au « mollic epipedon », seuls les horizons A<sub>2</sub> d'une certaine épaisseur sont plus clairs que 3,5/3,5.

— Dans les zones humides, ce sont les sols à horizon A<sub>2</sub> très développé, nettement acide, qui ont tendance à noircir en surface (umbric epipedon de la classification américaine).

— Enfin, la mise en culture provoque toujours un éclaircissement des horizons de surface : dans les zones climatiques limites, un At sombre peut donc devenir clair (le « mollic epipedon » devient un « ochric epipedon »).

3. *Les vraies couleurs d'hydromorphie, de pseudogley*, sont dans l'ensemble assez rares dans ces sols à horizon d'accumulation de calcaire : ceci ne veut pas dire que l'hydromorphie est rare mais que la présence du calcaire semble gêner l'expression colorée des phénomènes, et ce n'est que dans les sols à profil calcaire peu ou non différencié que les pseudo-gley peuvent être bien développés. Dans les sols à profil calcaire moyennement différencié ou encroûté, des phénomènes légers de marmorisation, de petites taches brunes ou noires (fer et manganèse ?) sont cependant fréquents au niveau des horizons Bca et C.

## B. Le profil structural.

A ce qui a été décrit en Basse Moulouya, peu de faits sont à ajouter.

— Quand on va vers des zones plus arides que la plaine du Zebra, la structure des horizons de surface est de plus en plus mal développée. Par contre, dans les horizons Bt et Bca, les structures polyédriques fines à faces lissées se maintiennent : sur les dépôts assez récents, comme ceux du Soltanien, elles sont cependant moins bien formées qu'en Basse Moulouya.

— Dans les sols à horizon Aca non calcaire, la structure prismatique du Bt est toujours plus nette quand la roche-mère est un matériau transporté, même sur courte distance, et placé dans des conditions de drainage moins bonnes. Cette structure est partout rare dans les zones karstiques, sauf si les poches de karst sont larges (plusieurs mètres) ou si les sols sont colluvionnés hors des poches.

— Dans certaines régions semi-arides et subhumides, sur des roches marneuses ou sur des dépôts quaternaires, les sols à profil calcaire plus ou moins bien différencié et à profil textural moyennement différencié sont étroitement associés à des sols dans lesquels les structures vertiques sont plus ou moins accentuées. Tous les sols ont alors en surface des structures plus anguleuses. En profondeur, les structures prismatiques des sols à Aca non calcaire sont mieux développées et plus larges ; elles se développent même dans des horizons Aca calcaires et dans certains horizons Bca. Dans tous les sols, que l'Aca soit calcaire ou non, des surstructures prismatiques apparaissent dès la surface. Dès que les conditions topographiques conduisent à un certain ralentissement du drainage, ces structures s'accroissent, s'élargissent ; de grandes fentes de retrait se forment pendant les périodes sèches, des faces de glissement se développent en profondeur. C'est le passage à des vertisols, dont les couleurs sont plus foncées. Cette association avec des sols plus ou moins vertiques est fré-

quente au Maroc : sur les marnes du Pré-Rif et du Rif, dans les plaines villafranchiennes et pléistocènes du Saïs, des Bni Moussa (Tadla), de la Chaouïa, des Doukkala, etc. ; elle est cependant peu connue et, en particulier, les conditions de développement des divers caractères dits vertiques restent assez mystérieuses ; par ailleurs, les critères minimums nécessaires pour parler de sol vertique ou de vertisol sont encore discutés.

### C. Le profil organique.

Étant donné l'importance au Maroc des surfaces cultivées et, souvent, l'ancienneté de cette mise en valeur, étant donné aussi que, jusqu'à présent, la grande majorité des études pédologiques, dont les objectifs principaux sont toujours agronomiques, ont été réalisées dans ces zones modifiées par l'homme, il est assez difficile aujourd'hui de dégager quelles sont les lignes principales des profils organiques dans les divers types de différenciation pédologique et comment ces profils se modifient en fonction des situations climatiques, pétrographiques et topographiques.

L'impression générale que l'on retire de l'examen des documents existant actuellement est la suivante :

1. Sous forêt, matorral ou steppe, dans les zones où l'action de l'homme est limitée, la courbe du profil organique, c'est-à-dire, la décroissance des teneurs en matière organique en profondeur par rapport aux teneurs de surface, est, dans les sols à profil calcaire plus ou moins bien différencié et profil textural moyennement différencié, à peu près partout la même : c'est la courbe 1 dessinée sur la figure 34.

2. Les teneurs en matière organique à une profondeur donnée, dans ces sols peu modifiés par l'homme, varient en fonction des climats : à titre indicatif, on peut dire qu'en zone subhumide, les taux en surface sont de l'ordre de 5 à 15% ; elles sont inférieures à 1% en régions pré-sahariennes.

3. Dans des conditions climatiques, pétrographiques et topographiques données, des courbes plus isohumiques, toujours liées à une diminution des teneurs en matière organique à toutes les profondeurs (diminution qui est bien sûr plus importante en surface qu'en profondeur), accompagnent soit le développement des caractères vertiques, soit la mise en culture. Ces courbes plus isohumiques sont partout du genre de celles de la Basse Moulouya : elles se rapprochent, selon les cas, des courbes 1, 2 ou 3 dessinées sur la figure 21.

4. Les sols à encroûtement calcaire ont souvent des courbes de répartition plus accentuées que celles des sols à profil calcaire moyennement différencié : les horizons de surface sont plus riches, alors que les horizons Bca sont plus pauvres.

5. Enfin, comme en Basse Moulouya, le développement d'un horizon A<sub>2</sub> est généralement accompagné d'une accentuation marquée de la courbe : on passe au type n° 2 dessiné sur la figure 34.

Pour ce qui est de la composition de la matière organique, les résultats concernant l'ensemble du Maroc sont rares. Il est donc difficile de confirmer ou d'infirmer à l'échelle du pays les résultats obtenus en Basse Moulouya. Tout juste peut-on indiquer que c'est dans les sols à At sombre et Aca non calcaire que l'on trouve souvent les taux d'humification les plus forts, les rapports AF/AH les plus faibles, et les proportions d'acides humiques gris les plus élevées ; au contraire, dans les zones arides et présahariennes, les taux d'humification sont faibles et les acides fulviques dominent sur les acides humiques parmi lesquels les bruns sont en proportions identiques ou supérieures aux gris.

### D. Le profil ferrugineux.

Il y a, d'après l'état du fer, deux types principaux de sols à profil calcaire plus ou moins bien différencié et profil textural moyennement différencié :

— Les sols dans lesquels les proportions de fer libre par rapport au fer total sont plus élevées dans les horizons A et B (Bt surtout) que dans les roches-mères ou matériaux originels. On constate, en général, que l'importance de cette « libération » du fer varie en fonction de deux facteurs : elle augmente quand on va de l'aride vers le subhumique et elle ne se développe bien que sur les roches non calcaires ou se décarbonatant facilement (pélites, grès, calcaires compacts).

— Les sols dans lesquels ces proportions sont peu différentes : ils sont fréquents en milieu aride ou sur des matériaux se décarbonatant difficilement (marnes, colluvions et alluvions calcaires).

Il est, en fait, impossible de placer une limite précise entre ces deux types de sol : les premiers correspondent à peu près à ce que l'on regroupe actuellement sous le nom de sols fersiallitiques, rouges ou bruns méditerranéens, non lessivés ; les deuxièmes correspondent à la plupart des sols calcomagnésimorphes et des sols isohumiques subtropicaux ; entre les deux, les intermédiaires sont nombreux.

Dans les sols à profil textural argileux très différencié, un troisième type de profil ferrugineux est fréquent : le fer migre seul, sans l'argile, et se concrétionne à la base du A<sub>2</sub> et dans le Bt : le concrétionnement peut aller jusqu'à la formation de véritables carapaces ferrugineuses. Ces phénomènes, liés à une hydromorphie temporaire d'engorgement, sont d'autant plus fréquents que :

- l'horizon A<sub>2</sub> est mieux formé ;
- le déficit en calcium du milieu est plus accentué ;
- le pédoclimat est plus humide et le milieu moins drainant.

Ils sont particulièrement bien développés dans les plaines et les plateaux atlantiques du Maroc, surtout dans le nord-ouest et il est intéressant d'y observer le développement des carapaces ferrugineuses en fonction de l'âge des surfaces : comme pour le calcaire, les carapaces n'apparaissent qu'à partir des niveaux du Quaternaire moyen et deviennent puissantes sur les surfaces du Quaternaire ancien (dans certaines vallées, comme celle du Korifla à 30 km de Rabat, taillées dans des flyschs du Primaire, l'absence ou la présence d'une couverture miocène calcaire, dominant la vallée, a permis, selon les cas, le développement sur les niveaux emboîtés à l'aval, de sols à horizons A<sub>2</sub> et concrétionnement ferrugineux ou de sols à profil calcaire différencié : on peut ainsi comparer, à courte distance, le développement des carapaces ferrugineuses et calcaires en fonction des niveaux quaternaires). Cette analogie du développement des carapaces ferrugineuses et calcaires en fonction de l'âge des surfaces peut paraître curieuse.

## E. La salure et l'alcalisation.

Le Maroc, comme tous les pays à climat méditerranéen, xérothérique, est bien placé pour être affecté par les phénomènes de salure et d'alcalisation dans les sols. Sa situation géographique le rend encore plus sensible à ces processus : d'une part, une grande partie de son territoire, presque la moitié, est soumise à des climats arides ou sahariens, d'autre part, le long de l'Atlantique et de la Méditerranée, les côtes s'étendent sur près de 2 000 km ; enfin, les nappes phréatiques peu profondes sont fréquentes et bien alimentées par les grands châteaux d'eau atlasiques et rifains où les roches sédimentaires salées et gypseuses ne sont pas rares.

Tout prédispose donc le Maroc à ces problèmes de salinisation des sols et il est vrai que d'une part les sels solubles sont souvent abondants dans les solutions, et que, d'autre part le sodium et le magnésium sont fréquents sur les complexes adsorbants.

Deux groupes de sols doivent cependant être distingués (RUELLAN, 1968 b) :

1. Les sols dont la morphologie traduit la présence de la salure ou de l'alcalisation : la différenciation du profil est modifiée par ces phénomènes et ce sont des sols que l'on classe facilement parmi les sols halomorphes (classification française d'AUBERT, 1965 a et b). Il s'agit le plus souvent de sols très salés à alcali et que l'on trouve dans deux types de régions :

- Le long des côtes, dans les basses plaines littorales et dans les zones d'estuaires ; on peut

citer par exemple la basse vallée de l'oued Massa dans la région d'Agadir, la basse plaine du Loukkos (entre Rabat et Tanger), les plaines d'Al Hoceïma, du Bou-Arg et de Saïdia, le long de la Méditerranée.

— Dans les régions arides et sahariennes où ils se situent dans les zones déprimées, mal drainées ; on peut citer quelques exemples dans les plaines et les plateaux arides de la Moulouya au nord, du Haouz et de la Bahira au sud ; mais c'est surtout dans les plaines pré-sahariennes que ces sols couvrent des surfaces importantes : dans la vallée du Drâa, dans le bassin de l'oued Daoura, dans la plaine de Tafilalt où des accumulations extraordinaires de sels se produisent (chlorures et sulfates) donnant naissance à des croûtes non seulement en surface mais aussi en profondeur.

Deux remarques sont à faire :

a. Ces sols ne couvrent, dans l'ensemble du pays, que de petites surfaces ; une des raisons principales en est que l'équilibre pluies — profondeur de la nappe — salure de la nappe — perméabilité du sol est, en général, tel que le drainage est suffisant.

b. Les sols à alcali lessivés, tels les solonetz, les solonetz solodisés et les solods sont, jusqu'à présent, peu connus au Maroc. C'est là une constatation assez étonnante quand on sait à quel point le sodium et le magnésium sont fréquents sur les complexes adsorbants ; il faut cependant se souvenir de ce que la plupart de ces sols riches en Na et Mg le sont aussi en Ca et  $\text{CO}_3\text{Ca}$  qui s'opposent, semble-t-il, à un important appauvrissement en argile des horizons superficiels (dans les Doukkala et le Rharb, la morphologie de certains sols rappelle celle de solonetz solodisés ; j'en ai déjà dit quelques mots précédemment : § II-2 du présent chapitre ; cependant le sodium présent actuellement sur le complexe des horizons B et C de ces sols est, généralement, en faible quantité, et le magnésium existant semble insuffisant).

2. A côté de ces sols halomorphes que l'on peut qualifier de typiques, il y a au Maroc, surtout dans les zones arides et sahariennes, d'autres sols, beaucoup plus fréquents que les précédents, qui sont également fortement affectés par des phénomènes de salure et d'alcalisation : à l'analyse, on trouve des conductivités de 5, 10, 20 millimhos, des teneurs en sodium sur le complexe de 5, 10, 20%, des proportions importantes de magnésium, des pH (eau) qui atteignent des valeurs de 9,0-9,2 voire 9,5 ; enfin, des stabilités structurales très faibles. Ce sont donc, manifestement, des sols salés et alcalisés, ou seulement alcalisés, mais ce qui en fait l'originalité c'est qu'il est, en général, pratiquement impossible sur le terrain, d'après la morphologie du profil, de le savoir : ces phénomènes n'affectent pas ou très peu la morphologie du profil ou du moins nous ne savons pas y voir les modifications éventuelles. Il n'y a, en tous les cas, pas d'efflorescences salines nombreuses, pas de croûtes ou d'encroûtements salins, pas de structure modifiée, pas de lessivage. A la rigueur, on peut y voir seulement quelques pseudo-mycéliums (mais l'expérience prouve que ces pseudo-mycéliums peuvent apparaître dans des horizons peu salés), quelques structures abîmées si les horizons affectés sont ceux de surface (par contre, si les phénomènes sont dans les horizons profonds, les structures ne changent pas quand on passe d'un sol alcalisé à un sol non alcalisé), une végétation halophyte dans certains cas (là aussi il faut être prudent : cette végétation n'est pas toujours présente et dans les régions arides, certaines plantes, telles les salsola, indiquent aussi bien l'aridité que la salinisation).

Parmi ces sols, qui sont le plus souvent des sols peu évolués, des vertisols, des sols calcomagnésimorphes ou des sols isohumiques, on peut distinguer trois groupes :

a. Des sols à nappe phréatique suffisamment profonde pour que les remontées capillaires jusqu'à la surface soient réduites, la profondeur limite, à partir de laquelle les sols halomorphes apparaissent, variant en fonction du climat, du matériau et de la conductivité de la nappe. Ce sont surtout les horizons profonds qui sont salés et alcalisés.

b. Les sols sans nappe phréatique : il s'agit soit de sols développés sur roches salées ou alcalisées (argiles et marnes du Permo-Trias ou du Miocène par exemple), soit, dans les plaines, de sols sur alluvions ou colluvions : c'est le cas de la Basse Moulouya, qui se généralise dans les zones arides et pré-sahariennes. Dans tous ces sols, salure et alcalisation apparaissent d'autant moins profon-



dément que le climat est moins humide ; elles n'affectent en général que les horizons Bca et C, sauf dans les milieux très arides où les horizons A peuvent être touchés.

c. Les sols irrigués avec des eaux plus ou moins salées : en plus des phénomènes dus à la remontée des nappes phréatiques, cette irrigation provoque souvent la salinisation et l'alcalisation de la totalité du profil et surtout des horizons de surface.

## F. Les minéraux argileux.

Les études sur les minéraux argileux des sols du Maroc sont encore peu nombreuses. Depuis une dizaine d'années cependant, les recherches ont progressé activement et on doit en particulier citer les travaux réalisés par U. SCHOEN dans diverses régions du Maroc, avec la collaboration de plusieurs pédologues et géographes (l'essentiel des résultats obtenus fait l'objet de sa thèse, à paraître prochainement).

En se fondant sur ces travaux, on est tenté de rassembler les sols de l'ensemble du pays en cinq groupes caractérisés par leurs minéraux argileux :

1. Les sols dans lesquels la kaolinite est abondante, voire largement dominante : il s'agit le plus souvent de sols à profil textural très différencié, non calcaires, développés dans les régions semi-arides et subhumides du Maroc atlantique sur les surfaces fini-tertiaires et villafranchiennes (dont les formations sont kaolinitiques sur plusieurs mètres d'épaisseur).

2. Les sols dans lesquels la vermiculite, absente dans les roches-mères, se développe dans les horizons A et B. Ils n'existent que dans les zones les plus humides du domaine semi-aride et dans les domaines subhumides et humides. Ce sont soit des sols à profil textural moyennement différencié à horizon Aca non calcaire (tels ceux des Bni Snassène), soit, plus souvent, des sols à profil textural très différencié.

3. Les sols développés dans des matériaux plus ou moins riches en montmorillonite. Ils sont fréquents dans les régions semi-arides et subhumides (Rif, Pré-Rif, Saïs, Rharb, Bni-Moussa, etc.). Ce sont presque toujours des sols à profil textural moyennement différencié, étroitement associés à des sols à caractères vertiques plus ou moins accentués.

4. Les sols contenant des proportions importantes d'attapulgitite : il peut s'agir de sols développés sur des roches-mères contenant ce minéral (marnes et marno-calcaires du Crétacé supérieur ou de l'Eocène, calcaires lacustres fini-tertiaires ou quaternaires) ou de sols au sein desquels, comme en Basse Moulouya, il y a eu, semble-t-il, néoformation. Cette attapulgitite se développe surtout dans les milieux arides.

5. Il y a enfin les sols où le minéral argileux principal est l'illite, accompagnée d'un peu de chlorite : ces minéraux sont hérités des roches-mères et caractérisent des sols dont l'évolution pédologique est faible (sols jeunes ou sols de régions arides et semi-arides).

On retiendra donc une répartition climatique assez nette des minéraux argileux dominant dans les sols, répartition qui est particulièrement évidente dans les sols à profil textural moyennement différencié et profil calcaire plus ou moins bien différencié :

- l'attapulgitite dans l'aride ;
- l'illite dans le semi-aride ;
- la montmorillonite et la kaolinite dans le semi-aride et le subhumide ;
- la vermiculite dans le subhumide.

C'est là la séquence déjà partiellement trouvée dans les sols de la Basse Moulouya (voir § IV du chap. 3).

## V. CONCLUSIONS

Après ce tour d'horizon des paysages pédologiques du Maroc, au cours duquel je me suis plus particulièrement intéressé aux sols à profil calcaire, l'importance des sols étudiés en détail dans les plaines de la Basse Moulouya se dégage nettement.

1. Il existe, à l'échelle du Maroc, un grand groupe de sols caractérisés par la différenciation du profil calcaire et dont la différenciation du profil textural argileux n'est jamais très accentuée : ce groupe comprend la plupart des sols calcomagnésimorphes et isohumiques et une partie des sols fersiallitiques. Dans le cadre de la classification américaine ce sont des inceptisols (xerochrepts), des aridisols (argids et orthids) des mollisols (rendolls et xerolls) ou des alfisols (xeralfs).

Ces sols existent dans toutes les régions climatiques du pays et sur presque toutes les roches. Cependant, en fonction des climats, des roches, du relief et de l'action anthropique, les éléments morphologiques et analytiques essentiels se modifient, et on est ainsi amené à distinguer divers types de sols d'après :

- la morphologie et la puissance de l'horizon Bca ;
- la teneur en calcaire de l'horizon Aca ;
- la texture globale et surtout le profil textural argileux ;
- la rubéfaction des horizons A et B par rapport à C ;
- la couleur plus ou moins sombre des horizons At ;
- la structure des horizons At et Bt ;
- les teneurs en matière organique et la composition des matières humiques ;
- les proportions de fer libre par rapport au fer total ;
- la salure et l'alcalisation des horizons B et C ;
- les types de minéraux argileux.

Toutes ces distinctions sont, en fait, celles auxquelles l'étude des sols des plaines et des montagnes de la Basse Moulouya nous a déjà conduits et, au total, les sols de cette région apparaissent très représentatifs des sols à profil textural moyennement différencié et profil calcaire plus ou moins bien différencié, présents dans l'ensemble du pays. Parmi les types importants, seuls sont absents de la Basse Moulouya certains sols caractéristiques soit des domaines subhumides et humides (sols à At clair du fait du climat trop humide ; sols à Aca non calcaire sur marnes), soit des régions sahariennes (sols couverts par une pellicule de cailloux vernis de noir : reg) et les sols riches en montmorillonite dont la structure est élargie dans les horizons At et Bt.

Il apparaît aussi que les observations faites en Basse Moulouya sur la répartition des sols en fonction des éléments du milieu, se confirment à l'échelle du pays. Il est, en particulier, intéressant de souligner que, partout au Maroc, les observations suivantes sont toujours vraies :

a. Les caractères d'un sol ne dépendent pas tellement des facteurs du milieu où il se trouve exactement, mais beaucoup plus des facteurs qui prédominent (ou ont prédominé) dans l'ensemble du bassin versant à l'aval duquel il se situe. Ceci est particulièrement vrai pour la morphologie des profils calcaires dans presque tous les sols, et pour presque tous les caractères des sols développés sur les alluvions et les colluvions fini-tertiaires et quaternaires.

b. L'accumulation et la concentration du calcaire dans les horizons Bca, et l'importance de certains minéraux argileux comme l'attapulgite, sont les seuls caractères dont le développement s'accroît progressivement avec l'âge des surfaces quaternaires où se trouvent actuellement les sols. Les autres caractères atteignent le maximum de leur développement sur les surfaces récentes.

c. Dans les horizons Bt, et même dans certains horizons At, les « cutans » (séparations ou concentrations plasmiques autour des grains de sable, et séparations plasmiques dans la masse du plasma) sont fréquents surtout, semble-t-il, quand ces horizons sont peu ou non calcaires. Cependant, les véritables revêtements argileux sur les faces des agrégats ou dans les pores sont rares.

d. C'est dans les régions semi-arides, que la rubéfaction de ces sols est la plus fréquente.

e. Sous une végétation peu dégradée par l'homme, les teneurs en matières organiques et la composition des matières humiques varient en fonction des éléments du milieu, surtout du climat ; par contre, la courbe du profil organique ne se modifie presque pas : il y a partout décroissance assez rapide de la matière organique dans les horizons de surface puis pénétration profonde ; il ne s'agit donc pas d'une répartition isohumique rappelant celle des sols de Russie.

Il faut, enfin, souligner l'existence de ces sols bien différenciés, avec encroûtements, horizon Bt, rubéfaction et néoformation de minéraux argileux, jusque dans les régions pré-sahariennes.

2. A côté de ces sols à profil calcaire plus ou moins bien différencié et profil textural moyennement différencié, il existe au Maroc :

a. D'autres sols à profil textural moyennement différencié, mais non calcaires : ce sont soit des sols fersiallitiques sur roches-mères non calcaires (zones arides ou milieu riche en calcium) ou sur calcaires et dolomies compacts (zones subhumides et humides), soit des sols classés actuellement comme peu évolués.

b. Des sols à profil textural non différencié : en général, le profil calcaire n'est pas différencié et ce sont, le plus souvent des sols actuellement classés comme peu évolués.

c. Des sols à profil textural très différencié : l'apparition de l'horizon A<sub>2</sub>, nettement séparé d'un horizon Bt et dont l'appauvrissement en argile semble en grande partie le résultat de migrations latérales, est accompagné :

- de la disparition du calcaire jusqu'à un mètre de profondeur au moins ;
- de la présence plus fréquente, mais non obligatoire, de revêtements argileux dans le Bt ;
- d'un éclaircissement des horizons At qui sont rarement de couleur « mollic » ; mais dans les domaines subhumides et humides, un horizon A<sub>1</sub> « umbric » se développe au sommet de l'A<sub>2</sub> s.s. qui peut devenir très clair ;

- d'une répartition moins profonde de la matière organique ;
- d'une hydromorphie d'engorgement fréquente, qui peut être accompagnée par la mise en mouvement et le concrétionnement du fer : ce phénomène s'accroît avec le temps dans des conditions qui rappellent singulièrement le développement des horizons Bca ;

- d'une désaturation, généralement légère, du complexe adsorbant ;
- de la présence de certains minéraux argileux dégradés (vermiculite) ou néoformés (kaolinite).

d. Des sols dont la morphologie est dominée par les caractères vertiques, andiques, halo-morphes ou hydromorphes.

e. Des sols minéraux bruts.

*Troisième partie*

---

## **L'INTERPRÉTATION PÉDOGÉNÉTIQUE DES FAITS**

---

## **La formation au cours du quaternaire des sols à profil calcaire différencié**

Ce chapitre est celui de l'interprétation des faits qui ont été exposés et progressivement synthétisés tout au long des chapitres précédents.

En effet, après cet exposé, un certain nombre de questions restent posées. Elles concernent principalement les sujets suivants :

1. Les mécanismes, anciens et actuels, responsables de la différenciation des sols, à profil textural peu ou moyennement différencié et profil calcaire plus ou moins bien différencié, que nous observons aujourd'hui, en Basse Moulouya et dans l'ensemble du Maroc.

2. Les étapes de cette différenciation.

3. Le déroulement des mécanismes en fonction des divers éléments du milieu, c'est-à-dire en fonction des facteurs de la pédogenèse.

4. Les relations qui existent entre les divers types de sols.

5. Le rôle de la différenciation de ces sols sur l'évolution du milieu au cours du Quaternaire.

6. Les enseignements que l'on peut tirer de l'étude de ces sols pour la connaissance du Quaternaire.

7. Les bases d'une classification morphogénétique de ces sols.

Pour donner quelques réponses à ces questions, je traiterai successivement de l'interprétation génétique des principaux aspects de la différenciation des sols de la Basse Moulouya, en particulier de ceux situés dans les plaines. A chaque fois que cela me semblera possible, je tenterai d'élargir ces interprétations aux sols et aux paysages de l'ensemble du Maroc.

## I. LA MISE EN PLACE DES MATÉRIAUX

Dans les plaines de la Basse-Moulouya, comme dans la plupart des vallées et des plaines du Maroc, les matériaux dans lesquels se développent les sols sont en majeure partie des alluvions et des colluvions. Pour comprendre le rôle de ces matériaux dans la différenciation des sols, il est nécessaire d'en connaître les origines et les mécanismes de mise en place avant et pendant la pédogenèse.

### A. L'origine des matériaux alluvionnés et colluvionnés; le rôle des sols.

L'origine des alluvions et des colluvions qui tapissent les plaines de la Basse Moulouya paraît évidente : seuls les massifs montagneux et les zones de collines qui entourent et dominent ces plaines peuvent les avoir fournies par érosion.

Cependant, cette évidence étant rappelée, il reste à comprendre l'essentiel, c'est-à-dire, le rôle, en tant que fournisseur de matériaux, de chacun des types de roches et de sols situés dans ces zones dominantes.

1. *En Basse Moulouya*, l'étude comparative de la répartition des sols dans les plaines et les montagnes, démontre clairement que, tout au cours du Quaternaire, ce sont surtout des sols qui ont été érodés à l'amont et transportés vers l'aval. L'érosion des roches a, au contraire, été limitée (chap. 4, § II-A-1 et fig. 27).

Si ceci est vrai, on peut alors penser que les dépôts de plaines reflétaient, lors de leur mise en place, certains caractères des sols de montagnes dont ils étaient issus. En particulier :

— à l'aval des régions où les sols rouges méditerranéens étaient abondants, les formations quaternaires ont dû être, lors de leur mise en place, peu calcaires, argileuses, rouges, assez riches en fer libre ; c'est sur ces matériaux qu'ont pu ensuite se développer des sols à profil calcaire différencié, à horizon Aca non calcaire, argileux et rouge (plaine des Triffa ; certaines zones du nord de la plaine du Zebra) ;

— au contraire, à l'aval des régions dominées par les sols calcomagnésimorphes, les formations quaternaires ont dû être, lors de leur mise en place, calcaires, moyennement argileuses, brun-rouge, assez pauvres en fer libre : sur ces matériaux, les sols sont actuellement calcaires dès la surface, et ils sont nettement moins argileux et moins rouges que les précédents.

Entre ces deux extrêmes, les intermédiaires sont nombreux, toujours fonction des caractères que les dépôts ont hérité des sols et des roches de montagne.

2. *Dans l'ensemble du Maroc*, ce rôle des sols situés en amont dans l'élaboration des formations sédimentaires aval, a été souvent important tout au cours du Quaternaire. En particulier, on retrouve dans toutes les grandes plaines (Moulouya, Saïs, Tadla, Haouz, Souss) cette répartition des formations

très rubéfiées et des sols non calcaires en surface, argileux et rouges, en fonction de la présence et de l'importance des sols rouges dans les zones montagneuses qui dominent ces plaines (chap. 6, § I-B et IV-A-1).

Il apparaît cependant que ce phénomène ne doit pas être restreint à la seule influence de la montagne sur la plaine. Il est beaucoup plus général et concerne en fait les rapports qui lient entre eux deux grands groupes de sols que j'ai déjà eu à distinguer (voir chap. 6, § I) :

— Les sols que l'on peut considérer comme s'étant formés sur les roches en place.

— Les sols différenciés sur des matériaux transportés récemment, c'est-à-dire essentiellement des alluvions et des colluvions fini-tertiaires et quaternaires : les principaux caractères de ces sols sont hérités des sols et des roches qui sont à l'origine des matériaux ; ceci est particulièrement vrai pour certains aspects du profil calcaire, du profil textural, de la couleur, de l'état du fer, de la minéralogie des argiles ; l'interprétation de ces sols est donc impossible si on ne peut retrouver l'origine des matériaux.

3. *Les faciès des alluvions très récentes, que l'on attribue classiquement au Rharbien*, sont souvent assez différents des formations plus anciennes et ne reflètent donc plus que fort mal les sols dont on suppose que proviennent par érosion ces dépôts plus anciens. Ceci est particulièrement visible dans des régions comme la plaine des Triffa où, sur un fond de sols à horizon Aca non calcaire, argileux et rouge, les dépôts du Rharbien et leurs sols peu différenciés sont moins argileux, peu rubéfiés et même assez souvent calcaires (chap. 4, § II-B-2).

On pourrait alors être tenté de croire que les faciès de ces alluvions du Rharbien sont en fait ceux que présentaient toutes les alluvions quaternaires au moment de leur mise en place et que les héritages pédologiques sont donc limités. Cette hypothèse paraît cependant incompatible avec les trois faits suivants :

— Quand, le long d'un oued qui draine un paysage de sols rouges méditerranéens, on passe des terrasses soltaniennes aux terrasses rharbiennes, le changement de faciès et de sols est souvent net et important.

— Le long de deux oueds qui, à quelques kilomètres de distance, drainent deux bassins versants pétrographiquement et pédologiquement différents, les dépôts et les sols reflètent, à tous les niveaux, sauf au Rharbien, leurs origines et sont donc différents d'un oued à l'autre.

— Quand les formations sont suffisamment épaisses, on ne retrouve pas en profondeur, au niveau du matériau originel non affecté par la pédogenèse postérieure, des faciès identiques à ceux du Rharbien.

L'originalité des dépôts du Rharbien paraît donc devoir être expliquée autrement. J'ai, quant à moi, tendance à y voir le résultat de modalités d'érosion et de transport différentes parce qu'elles sont la conséquence de l'action de l'homme sur la couverture végétale et, d'une façon générale, sur l'ensemble du milieu. En particulier, on peut supposer que bien des dépôts du Rharbien résultent de l'érosion récente et actuelle de matériaux qui deviennent très vulnérables dès que le couvert végétal s'éclaircit :

— horizons superficiels des sols qui, nous l'avons vu, sont fréquemment peu rubéfiés et peu argileux ;

— roches tendres telles que les arènes granitiques, les basaltes triasiques altérés (HUBSCHMAN, 1967), les marnes.

## B. Les mécanismes de la mise en place des matériaux.

### 1. *Homogénéité ou hétérogénéité des matériaux.*

Pour pouvoir présenter une interprétation cohérente des conditions dans lesquelles les matériaux se mettent en place avant et pendant la pédogenèse, il faut d'abord être à peu près sûr que l'on a su reconnaître sur le terrain, l'homogénéité ou l'hétérogénéité de ces matériaux : les sols sont-ils

développés sur des alluvions-colluvions simples ou superposées ? Les profils que l'on décrit sont-ils uniques, faits de véritables horizons pédologiques, ou s'agit-il du résultat de la succession complexe de phases de pédogenèse interrompues par des périodes d'érosion et d'alluvionnement généralisés ?

A ces questions préalables, et fondamentales, l'observation des sols et des paysages de la Basse Moulouya permet de fournir les réponses suivantes :

a. *La différenciation des sols*, et en particulier, la formation des profils calcaires et texturaux, est le *résultat de mécanismes pédologiques* qui ont donné naissance à des *horizons pédologiques*. Pour s'en convaincre, on peut rappeler les quelques faits suivants (chap. 2) :

- les passages progressifs, verticalement et latéralement, entre les diverses formes d'horizon Bca (§ I-C-5 et 6 ; fig. 6 et 7) ;
- les transitions progressives entre les horizons Bca et C (§ I-C-4) ;
- la transformation progressive de la limite entre Aca et Bca quand on passe latéralement d'un sol à profil calcaire peu différencié, à un sol à profil calcaire moyennement puis très différencié (§ I-C-3) ;
- la présence régulière de l'horizon Aca quelle que soit la situation topographique (§ I-C-2) ;
- l'uniformité de la granulométrie des sables du haut en bas des profils (§ II-A-2 ; fig. 14, 15 et 16) ;
- les transitions très progressives entre les horizons At, Bt et C (§ II-B).

Ces faits montrent que les encroûtements calcaires ne sont pas des dépôts allochtones posés sur un soubassement antérieur et que les horizons Aca ne sont pas non plus des formations alluviales ou colluviales uniformément déposées sur les horizons Bca.

b. Un certain nombre de faits indiquent cependant que la différenciation des sols est fréquemment perturbée, modifiée, par des *mouvements latéraux* des matériaux, que l'on peut qualifier de *remaniements mécaniques*. Sans ces mouvements, il paraît, en effet, difficile d'expliquer :

- les modalités de la présence des morceaux d'encroûtement calcaire dans les horizons Aca (chap. 2, § I-C-3-a) ;
- les cailloutis qui séparent les horizons Aca et Bca ou deux horizons différents d'individualisation du calcaire (chap. 2, § II-A-1 ; fig. 12 et 13) ;
- la concentration des éléments grossiers dans les horizons de surface (chap. 2, § II-A-1) ;
- les variations en fonction du relief et du microrelief de l'épaisseur de l'horizon Aca et du développement des horizons Bca doubles et triples (chap. IV, § II-C-1 ; fig. 29 à 33).

L'importance de ces remaniements ne doit cependant pas être exagérée et il faut en particulier se souvenir des points suivants :

- bien des cailloutis ne témoignent que de l'hétérogénéité des dépôts lors de leur mise en place avant toute pédogenèse (chap. 2, § II-A-1) ;
- les cailloutis continus, situés à quelques dizaines de centimètres de profondeur et qui séparent, sur de grandes surfaces, deux dépôts de faciès nettement différents, sont rares sauf dans les zones de piémont et de terrasses.
- il est rare, en dehors de certaines zones de piémont et de quelques bas-fonds, de retrouver en profondeur dans un profil, un horizon A organique enfoui sous des dépôts plus récents.

Aux questions posées au début de ce paragraphe, on peut donc fournir la triple réponse interprétative suivante :

- Les matériaux, alluviaux et colluviaux, mis en place au cours du Quaternaire sont souvent hétérogènes.
  - Au sommet de ces matériaux, des horizons pédologiques se sont différenciés (Aca, Bca, At, Bt).
  - Ces horizons ont été remaniés.
- On est ainsi amené à distinguer dans la mise en place des matériaux deux stades :
- un stade au cours duquel les matériaux se mettent en place rapidement ;
  - un stade au cours duquel les matériaux continuent à se déplacer lentement : c'est le stade des remaniements.



## 2. Le stade de la mise en place rapide des matériaux.

Le stade de la mise en place rapide des matériaux est celui au cours duquel les sols sont soumis, dans les zones amont, à une érosion active. Ils sont transportés et déposés à l'aval où ils vont constituer les matériaux originels des sols futurs.

Cette période est en somme caractérisée par une géomorphogenèse active dont les agents principaux peuvent être :

- le ruissellement : à lui revient l'essentiel du travail.
- les processus périglaciaires, dans les régions d'altitude.
- les mouvements de solifluxion, dans les régions humides, marneuses et pélitiques.

Par rapport à cette évolution rapide du relief, la pédogenèse apparaît au contraire ralentie et même arrêtée : c'est une période au cours de laquelle les sols sont surtout érodés ou enfouis.

En Basse Moulouya, ce phénomène de mise en place rapide des matériaux s'est amplifié à plusieurs reprises au cours du Quaternaire ; l'emboîtement des dépôts le long des oueds en est la preuve : on peut considérer qu'il y a eu, dans un secteur donné, au moins autant de phases de géomorphogenèse active que l'on retrouve de formations emboîtées. Par contre, la présence d'un cailloutis dans un dépôt n'est pas toujours la preuve qu'il y a superposition de deux matériaux mis en place à des époques différentes : de nombreux cailloutis n'ont d'autre signification que la variation dans le temps et dans l'espace des conditions d'érosion et de sédimentation et seuls certains horizons caillouteux épais et continus, ou situés entre deux faciès très différents, peuvent être interprétés stratigraphiquement avec un minimum de sûreté (chap. 2, § II-A-1 et fig. 13).

D'après les formes emboîtées et certains changements de faciès, il y aurait eu dans les plaines de la Basse Moulouya au moins dix périodes de mise en place rapide des matériaux (chap. 1, § II-C). Cependant, si on considère la puissance des dépôts et les surfaces qu'ils couvrent (fig. 5) toutes les périodes ne semblent pas avoir eu la même importance. En fait, deux époques se révèlent fondamentales :

- tout d'abord, les trois stades du Villafranchien : l'épaisseur de ces formations est de l'ordre de 50 à 100 m dans la cuvette des Triffa et au centre de Zebra ;
- le Quaternaire moyen ensuite : ses dépôts sont moins épais, mais se superposent au Villafranchien sur des surfaces importantes.

Ultérieurement, ces phénomènes de mise en place rapide des matériaux apparaissent, comparativement, de faible envergure. L'époque des vastes épandages est révolue, et les formations du Quaternaire récent se limitent à quelques cônes de piémont et à de petites formations alluviales emboîtées le long des oueds. Dans certaines régions, le Rif par exemple, ces phénomènes sont actuellement actifs ; ils résultent soit de la destruction anthropique du couvert végétal, soit peut-être de la poursuite de la surrection tectonique.

## 3. Le stade des déplacements lents : les remaniements.

Après le stade de la mise en place rapide des matériaux, vient celui, probablement beaucoup plus long, du développement de la pédogenèse : c'est celui que nous observons actuellement partout où le couvert végétal n'a pas été détruit. Mais pendant ce deuxième stade, la géomorphogenèse, si elle est ralentie, n'est pas pour autant arrêtée : elle se poursuit lentement sous l'effet des remaniements.

Parmi ces remaniements, il faut distinguer deux types principaux :

- ceux qui sont dus à des mouvements superficiels ;
- ceux qui sont dus à des mouvements internes.

### a Les remaniements superficiels.

Les remaniements superficiels sont des phénomènes intermittents dont les moteurs sont l'eau de ruissellement ou le vent. Il y a érosion et accumulation en nappe, linéaires ou éoliennes.

1. *Les phénomènes d'érosion et d'accumulation en nappe* fonctionnent actuellement plusieurs fois par an après chaque forte pluie : le déchaussement des plantes et des cailloux ou la mise en place actuelle de petites pellicules de colluvions en sont des preuves. Ils sont particulièrement développés dans les régions arides et dans les zones défrichées. Ces remaniements sont partiellement responsables des faits suivants :

- La variation de l'épaisseur des horizons Aca en fonction du relief de détail (chap. 4, § II-C-1-c ; fig. 30 à 33).

- L'accumulation de cailloux à la surface des sols sur de grandes superficies (chap. 2, § II-A-1-f) ; deux mécanismes entrent en jeu :

- entraînement, par l'érosion en nappe, des éléments fins : il y a, en surface, accumulation différentielle des éléments grossiers présents dans les horizons supérieurs des sols ;

- à partir des zones de piémont où les roches en place peuvent fournir du matériel grossier, migration en surface, dans le sens de la pente, de ces éléments grossiers ; l'érosion en nappe déchausse les cailloux, en affouillant sous chacun d'eux, les déplace lentement, millimètre par millimètre ou, de temps en temps, plus rapidement sous l'effet de petits basculements : en quelques centaines ou milliers d'années cette migration peut ainsi se faire sur plusieurs centaines de mètres.

- L'existence, surtout dans les zones proches des collines ou des montagnes, de minces couches colluviales (voir par exemple le profil n° 1-5-68-3, fiche de profil n° 17, horizon 0-13 cm) ; on se rapproche là des phénomènes de mise en place rapide des matériaux.

- L'appauvrissement en argile dans les horizons de surface.

2. *Les phénomènes d'érosion et d'accumulation linéaires* sont dus à des ruissellements concentrés issus des écoulements en nappe. Ces filets d'eau entaillent les sols plus ou moins profondément, donnant naissance, sur les surfaces régulières des glacis, à ce que l'on peut appeler des *griffes d'érosion*. L'observation actuelle de ces griffes, de leurs formes et de leur évolution, est pleine d'enseignements :

- Les dimensions des entailles sont très variées : de quelques centimètres jusqu'à deux-trois mètres de largeur et de profondeur (le plus souvent cependant, elles ont quelques dizaines de centimètres de profondeur et quelques mètres de largeur) et quelques dizaines de mètres de longueur. Le fond de ces griffes se place donc fréquemment au niveau des horizons Bca.

- Transversalement, les formes sont très diverses ; les parois verticales et les fonds plats sont fréquents.

- Le fond des entailles est souvent couvert d'éléments grossiers, en particulier de cailloux ; il s'agit d'un dépôt lenticulaire, d'épaisseur variée, que l'on est facilement tenté de rapprocher de certains cailloutis observés dans les coupes (chap. 2, § II-A-1 ; chap. 4, § II-C) : on peut en somme y voir des cailloutis en cours de mise en place.

- A l'extrémité aval, les griffes se terminent par un petit cône de déjection plus ou moins développé selon l'importance de la griffe. L'épaisseur des dépôts ne dépasse cependant jamais quelques centimètres.

- Ces griffes sont en perpétuelle évolution : pendant chaque forte pluie, il s'en crée de nouvelles et certaines disparaissent ; d'autres s'allongent ou au contraire se raccourcissent ; on peut les voir aussi s'approfondir en certains points et se combler en d'autres. Par ailleurs, entre les fortes pluies, qui ne se produisent pas forcément tous les ans, ou localement dans les secteurs abandonnés, pour diverses raisons, par le ruissellement actif, les entailles sont lentement comblées, d'une part par l'effondrement des parois, d'autre part par une érosion localisée des parois et de la surface des sols environnants. Ainsi peut-on voir, en quelques années, une entaille naître et s'approfondir, les éléments grossiers présents dans les sols se concentrer dans le fond de la griffe et une mince couche d'alluvions fines se mettre en place à l'aval, puis l'entaille se combler en utilisant le plus souvent des matériaux tout à fait locaux.

Tout ceci conduit à penser que ces griffes d'érosion peuvent être à l'origine de bien des cailloutis lenticulaires placés entre deux horizons pédologiques différents ; elles permettent également de comprendre pourquoi localement certaines limites pédologiques, entre Aca et Bca par exemple,

ou entre les deux niveaux d'un Bca double, s'affaissent et s'accroissent (chap. 2, § II-A-1-d et fig. 12 et 13 ; ainsi que dans le chap. 4, § II-C-1, la fig. 31). Ces cailloutis ou limites nettes « ravinantes » n'ont donc qu'une signification stratigraphique très restreinte : leur présence ne signifie pas qu'il y a, sur l'ensemble d'un glacis, superposition de deux matériaux dont les faciès et les âges sont différents. Ils indiquent seulement que, localement, des griffes d'érosion ont existé, que les éléments grossiers présents dans les sols n'ont presque pas été entraînés par l'érosion et se sont donc concentrés au fond de l'entaille, que les entailles ont été ensuite comblées par les produits d'une érosion légère agissant sur la surface des sols environnants, que la pédogenèse s'est ensuite poursuivie dans ce matériau remanié : c'est cette petite histoire qui est résumée dans la figure 40.

Comme pour les écoulements en nappe, il semble que l'érosion linéaire ait été récemment accentuée du fait de l'action de l'homme et de ses animaux.

3. *Les phénomènes éoliens* : s'il n'y a en Basse Moulouya aucune forme majeure due à l'érosion et à l'accumulation éoliennes, hormis les dunes côtières, il ne faut pas pour autant négliger le rôle du vent dans les remaniements. En effet :

— La concentration des cailloux à la surface des sols, d'autant plus accentuée que l'on va vers l'aride, peut être en partie d'origine éolienne ; on ne peut cependant reconnaître aucune forme majeure d'accumulation.

— Grâce à quelques déterminations réalisées par M<sup>me</sup> M. DELAUNE (laboratoire de sédimentologie de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy), on sait qu'il y a dans les sols, à toutes les profondeurs, des quartz éolisés. Les proportions sont cependant faibles : 10 à 20% de ronds-mats dans le Zebra, quelques pour cent seulement dans les Triffa.

— Dans le centre de la plaine du Zebra, on peut actuellement, en été quand les sols sont secs et presque entièrement dénudés, observer souvent des phénomènes de remaniement éolien. Ce sont, presque toujours, des mouvements en tourbillons pouvant soulever les particules fines, surtout limoneuses, à plusieurs dizaines de mètres, mais sans qu'il y ait déplacement latéral important : il s'agit donc d'un remaniement qui s'effectue pratiquement sur place. Ces phénomènes, certainement favorisés par le défrichement anthropique, sont rares dans les Triffa semi-arides.

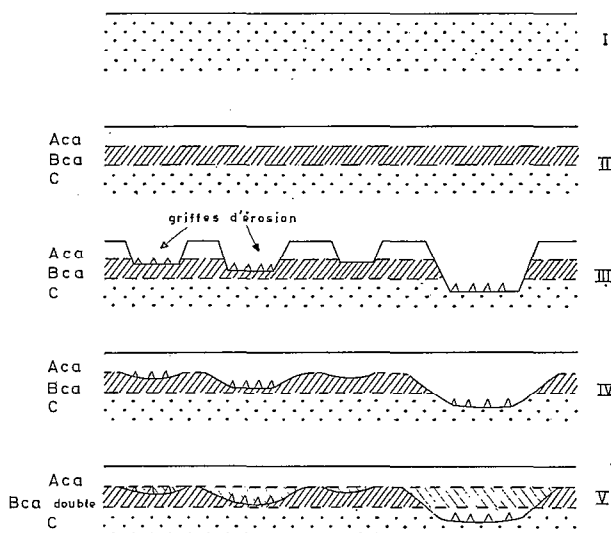


FIG. 40. — Rôle de l'érosion et de l'accumulation linéaires dans la naissance de certains cailloutis et limites nettes « ravinantes ».

Sur un matériau mis en place rapidement (I), un sol se différencie (II). Pendant que cette différenciation se poursuit, la surface est localement entaillée par l'érosion : au fond des griffes d'érosion les éléments grossiers présents dans le matériau se concentrent (III). Les entailles sont ensuite comblées par les produits d'une érosion légère et locale (IV). Enfin, la pédogenèse se poursuit, un sol se différencie dans ce matériau remanié (V).

### b *Les remaniements internes.*

Les remaniements internes sont des phénomènes à peu près permanents. Il s'agit soit de mouvements particuliers, soit de mouvements de masse, les moteurs principaux de ces mouvements étant la gravité, les variations d'humidité et l'activité biologique. Il en résulte :

— Un certain brassage des horizons, d'autant plus actif que l'amplitude et la fréquence des variations d'humidité sont plus importantes et que les matériaux sont plus gonflants.

— Un lent déplacement vers l'aval de toute la couverture pédologique, le déplacement étant d'autant plus rapide que l'on se trouve plus proche de la surface : les horizons A migrent plus vite que les B et les B plus vite que les C. Il semble d'ailleurs que la différenciation pédologique soit un facteur important de l'accentuation de ces mouvements : la formation des horizons, qui acquièrent chacun des propriétés mécaniques différentes, facilite la migration de l'un par rapport à l'autre, ceci d'autant mieux que la limite entre les horizons est plus nette. Cette migration va d'ailleurs elle-même accentuer cette limite qui peut prendre l'aspect d'une discontinuité lithologique avec concentrations de cailloux et « pseudo-ravinements » (limite irrégulièrement ondulée).

Dans les plaines de la Basse Moulouya, l'importance de ces mouvements internes permanents ne doit pas être exagérée : la plupart des pentes sont faibles, l'humidité des sols dans les horizons B et C est souvent très basse, les matériaux sont en général peu gonflants, les limites d'horizons sont fréquemment diffuses. Ils ne sont cependant sûrement pas négligeables et c'est en particulier à eux que l'on peut attribuer, partiellement, la destruction du sommet des encroûtements calcaires durcis et la présence d'éléments de ces encroûtements dans les horizons Aca, jusqu'en surface (chap. 2, § I-C-3-a).

Par contre, quand on monte sur les collines et dans les montagnes, tous les remaniements, externes et internes, se développent, aussi bien dans les sols sur alluvions-colluvions que dans ceux considérés comme s'étant formés sur des roches en place.

## C. *Rôle des variations climatiques dans la mise en place des matériaux. Géomorphogenèse et pédogenèse: l'enchaînement des mécanismes.*

Les quatre forces naturelles qui agissent sur les matériaux pour les déplacer sont la gravité, l'eau, le vent et la vie. Il est donc raisonnable de supposer que les facteurs du milieu qui règlent les modalités de la mise en place des matériaux sont essentiellement :

— les propriétés mécaniques des matériaux eux-mêmes, c'est-à-dire des roches en place, des sédiments transportés et des sols ;

— le relief ;

— le climat ;

— la végétation et la faune.

En ce qui concerne les deux premiers facteurs, dont les rôles respectifs dans la mise en place des matériaux ne peuvent être dissociés, les observations présentées dans ce travail, comparées à certains résultats obtenus dans d'autres régions (PUJOS, 1958 ; RAYNAL, 1961 ; JOLY, 1962 ; AVENARD, 1965, BEAUDET et MATHEZ, 1965, BEAUDET, MAURER, RUELLAN, 1966 ; MAURER, 1968 ; BEAUDET, 1969 a ; HEUSCH et ROBERT, 1969) permettent d'aboutir aux quelques conclusions suivantes :

1. Le remaniement des sols varie en fonction du rythme saisonnier. Deux périodes principales peuvent être distinguées :

— Une période au cours de laquelle la couverture végétale herbacée est peu développée : il s'agit de la saison sèche et chaude et du début de la saison des pluies ; cette période est surtout celle des remaniements superficiels (par l'eau ou par le vent) dont le développement est maximum au moment où les premières pluies de l'année ruissellent sur des sols dénudés par la sécheresse.

— Une période au cours de laquelle la couverture végétale herbacée est bien développée : c'est la saison des pluies ; en surface, l'eau de pluie, freinée par la végétation, ruisselle peu et pénètre bien dans les sols, les systèmes radiculaires se développent et pompent cette eau, la faune accentue son activité ; au total, le sol, d'une part est remué par les êtres vivants, d'autre part, en fonction de la succession fréquente des périodes de pluies et de soleil, s'humidifie et se dessèche à plusieurs reprises : toutes les conditions sont donc réunies pour le développement des remaniements internes alors que les ruissellements superficiels sont, au contraire, ralentis.

2. Les durées respectives de ces deux périodes varient en fonction des régions climatiques : plus on va vers l'humide, plus les remaniements internes prennent de l'importance par rapport aux remaniements superficiels. Ils sont en particulier favorisés :

— par l'augmentation de la densité de la couverture arbustive (aujourd'hui très abîmée par l'homme : voir chapitre I et § II du présent chapitre) ;

— par la meilleure structuration de la surface des sols qui facilite la pénétration de l'eau ;

— par l'accentuation fréquente de la différenciation des horizons pédologiques.

3. L'importance et la répartition des pluies variant beaucoup d'une année sur l'autre, il en est de même des remaniements ; c'est ainsi que l'on voit certaines années l'érosion s'accélérer, les glissements de terrains se multiplier, l'engorgement des vallées et l'inondation des plaines devenir inquiétants. C'est au retour fréquent de ces années catastrophiques que l'on est tenté de penser pour expliquer ce que j'appelle la phase de mise en place rapide des matériaux : il y aurait ainsi eu, au cours du Quaternaire, un certain nombre de périodes pendant lesquelles, pour des raisons climatiques (ou tectoniques), les années favorables aux mouvements rapides des matériaux sur de grandes distances se seraient multipliées. Au cours de ces périodes, la pédogenèse est « submergée » : elle n'a plus le temps, pendant le calme qui règne entre chaque à-coup de l'érosion, de réparer les méfaits de celle-ci en effaçant les écorchures ou en incorporant les dépôts. Pour ce qui est des climats, les raisons pour lesquelles l'érosion s'accélère doivent varier selon les régions : en haute montagne, il peut s'agir d'une accentuation du froid qui atteint la couverture végétale et favorise les phénomènes périglaciaires ; en région humide, on est tenté de penser à une augmentation de l'aridité qui va défavoriser la couverture végétale et rendre les pluies et les vents plus agressifs ; en région très aride on peut, au contraire, imaginer une augmentation des précipitations d'automne qui agissent plus brutalement sur des sols très dénudés après un été brûlant et sec.

#### D. Conclusions.

De cette étude interprétative de la mise en place des matériaux, il faut essentiellement retenir ceci :

1. Dans l'ensemble du Maroc, les alluvions et les colluvions qui constituent les matériaux originels d'une grande partie des sols de ce pays, proviennent surtout de l'érosion des sols situés en amont. Elles conservent de ces sols des caractères importants que les processus pédologiques postérieurs n'ont effacés que partiellement.

2. Les matériaux du Rharbien sont différents des matériaux plus anciens : les héritages pédologiques y sont moins évidents. Le rôle de l'action de l'homme dans l'origine de cette différence est à étudier.

3. La mise en place des matériaux se fait au cours de deux stades qui, durant le Quaternaire, se sont succédés à plusieurs reprises :

— Un stade de mise en place rapide au cours duquel la géomorphogenèse est beaucoup plus active que la pédogenèse : le relief évolue vite et les sols sont surtout érodés ou enfouis (ils sont érodés là où les matériaux sont pris ; ils sont érodés et enfouis là où les matériaux sont mis en place). C'est

au cours de cette période que se construit l'essentiel de l'épaisseur des alluvions et des colluvions. En Basse Moulouya, ces phénomènes ont surtout eu de l'ampleur au cours du Quaternaire ancien et moyen.

— Un stade au cours duquel, dans et sur tous les sols, qu'ils soient sur roches en place ou sur matériaux transportés, des remaniements se poursuivent lentement, participant à la fois à la différenciation pédologique et à l'évolution du relief : c'est le stade que nous vivons actuellement, partout où le couvert végétal n'a pas été trop détruit. Ces remaniements sont soit superficiels et intermittents, dus surtout à l'eau qui ruisselle en nappe ou linéairement, et, dans des régions arides, au vent, soit internes et permanents résultant principalement de la différenciation des horizons, de l'action de la gravité, des variations d'humidité, de l'activité biologique animale et végétale. Ces remaniements mécaniques, dont l'importance s'accroît avec le relief, sont à l'origine, d'une part de la présence dans les sols d'éléments grossiers allochtones, absents des matériaux sous-jacents, d'autre part, de bien des cailloutis ou limites nettes « ravinantes » qui séparent localement les horizons pédologiques.

4. L'importance des divers types de remaniements varie en fonction des propriétés mécaniques des matériaux (roches et sols), du relief, du climat et de l'activité biologique végétale et animale. Il faut, en particulier, souligner que les mouvements internes apparaissent d'autant plus importants par rapport aux remaniements superficiels que le climat est plus humide. Mais partout, la pédogenèse se développe dans un paysage qui n'est pas géomorphologiquement figé.

De cette étude interprétative de la mise en place des matériaux, un certain nombre de leçons sont encore à retenir ; elles concernent :

- la stratigraphie des dépôts quaternaires ;
- la notion de roche-mère.

1. Quand on décrit et interprète la *stratigraphie des formations quaternaires*, on doit se souvenir des notions suivantes :

— Les cailloutis, les « ravinements » ou les limites nettes, même s'ils séparent des horizons de faciès différents, n'ont souvent aucune signification stratigraphique : ils n'indiquent pas forcément que l'horizon supérieur est un dépôt dont la mise en place date d'une époque nettement postérieure à celle du niveau sous-jacent. Bien souvent ces phénomènes :

ou bien sont les témoins de petites variations, dans l'espace et dans le temps, des modalités de la mise en place rapide de matériaux.

ou bien résultent du développement des sols, en particulier des remaniements qui accompagnent ce développement.

— La présence dans une formation superficielle d'éléments grossiers allochtones, c'est-à-dire par exemple, de cailloux pétrographiquement différents de la roche sous-jacente et dont la provenance est forcément latérale, n'indique pas que toute la formation est un dépôt allochtone. La lente migration des cailloux à la surface du sol, leur incorporation dans la masse des sols dont tous les horizons se déplacent le long des pentes, même si elles sont très faibles, tout ceci peut expliquer la présence de bien des éléments allochtones. Remarquons que cette conclusion permet de reposer le problème de l'origine d'une partie du « voile colluvial » qui, d'après les géomorphologues, couvre les glacis d'érosion : ce voile n'est-il pas en fait un sol pollué, plutôt qu'un dépôt entièrement allochtone ? Le glacis d'érosion n'est-il pas surtout le résultat d'une longue évolution pédologique au cours de laquelle les mécanismes de remaniements superficiels, régularisant la surface, sont d'autant plus développés par rapport aux remaniements internes que le climat est plus aride ?

2. *La roche-mère des sols*, quelles que soient les roches, n'est pas seulement représentée par ce que l'on trouve actuellement à la base du profil. Cette roche-mère est toujours à rechercher partiellement en amont, la participation de l'amont étant d'autant plus abondante et devant être recherchée d'autant plus loin que l'on étudie des horizons plus proches de la surface. Dans les sols développés sur alluvions et colluvions la notion de roche-mère est encore compliquée par le fait que ces matériaux sont partiellement des sols transportés : les vraies roches-mères peuvent alors être très lointaines.

## II. LE DÉVELOPPEMENT DU PROFIL ORGANIQUE

Pour interpréter la formation des divers types de répartition verticale de la matière organique, décrits dans les chapitres 3, 5 et 6, il est bon de distinguer, en fonction des couverts végétaux et de l'utilisation actuelle des sols, quatre groupes de sols :

- Les sols qui sont encore occupés aujourd'hui par des végétations arborées qui semblent peu affectées par l'homme : ces couverts végétaux sont soit des forêts, soit des matorrals (IONESCO et SAUVAGE, 1962).

- Les sols qui sont couverts d'une végétation principalement steppique qui résulte soit d'une dégradation par l'homme de la forêt avec développement des pâturages, soit de conditions climatiques ou édaphiques particulières (aridité, froid, halomorphie, hydromorphie). Ces formations végétales sont des ermes, des steppes, des pelouses ou des prairies (IONESCO et SAUVAGE, 1962).

- Les sols qui sont cultivés sans irrigation.

- Les sols qui sont cultivés avec l'aide de l'irrigation : il n'est pas utile, dans ce texte, d'en parler.

### A. Les sols à végétation forestière.

En Basse Moulouya, les sols qui sont encore actuellement couverts par une végétation dont la composition, la densité et l'enracinement rappellent ceux d'une végétation forestière primaire, n'existent que dans les massifs montagneux, et presque uniquement dans les Bni Snassène.

Pour comprendre l'influence que cette formation végétale méditerranéenne peut avoir sur le profil organique des sols, il faut en souligner les trois caractères suivants :

- c'est une formation fermée, essentiellement ligneuse; le sol est bien couvert.

- une grande partie des espèces sont à feuilles persistantes ; les quantités de matières végétales fournies chaque année à la surface des sols sont donc faibles si on les compare aux quantités fournies par les forêts des régions tempérées ;

- l'enracinement est important et profond ; par ailleurs, le système racinaire fin se renouvelle fréquemment, en fonction de l'humidification et du dessèchement périodiques des sols (Ch. SAUVAGE, communication orale).

Sous cette végétation, le profil organique des sols à profil textural moyennement différencié et à profil calcaire plus ou moins bien différencié, c'est-à-dire des sols peu évolués, des sols calcomagnésimorphes, des sols isohumiques et de certains sols rouges et bruns méditerranéens, est celui représenté par l'enveloppe de courbes 1 de la figure 34 (chap. 5) : il s'agit là d'une répartition qui n'est pas isohumique dans le sens classique du terme, la pénétration de la matière organique en profondeur étant cependant importante.

Dans l'ensemble du Maroc, jusque dans les régions les plus arides, ce profil organique, avec des taux variables (surtout en fonction du climat) est celui des sols sur lesquels subsiste la forêt ou le matorral (chap. 6, § IV-C). Dans la mesure où il est vrai qu'avant toute intervention importante de l'homme, ces formations arborées couvraient, jusqu'aux portes du Sahara, l'ensemble du pays (exceptées quelques zones de haute altitude, trop froides et des zones à sols halomorphes ou hydromorphes), on peut admettre que partout au Maroc et en particulier dans l'ensemble de la Basse Moulouya, ce profil organique fut, avant l'intervention de l'homme, celui de la plupart des sols à profil textural moyennement différencié et profil calcaire plus ou moins bien différencié.

L'enrichissement des sols en matière organique est accompagné d'un assombrissement des horizons superficiels. Ce phénomène, ainsi que le type de structuration qui l'accompagne, dépend principalement de deux facteurs :

— Le climat : quand on va de l'aride vers l'humide, les horizons At s'assombrissent (puis s'éclaircissent quand on atteint les zones nettement humides) ;

— Le calcium : tout appauvrissement en calcium, qui s'accompagne du développement d'un horizon A<sub>2</sub> et d'une diminution plus rapide des taux de matière organique en fonction de la profondeur, a pour conséquence un éclaircissement des horizons de surface.

#### B. Les sols à végétation steppique.

En Basse Moulouya, les sols à végétation steppique, secondaire, se retrouvent là où l'exploitation de la forêt n'a pas été suivie de la mise en culture ; il s'agit soit de zones montagneuses, soit de zones arides (Zebra).

Comme la forêt et le matorral, cette végétation steppique méditerranéenne est caractérisée par l'importance et le renouvellement fréquent de son enracinement, alors que la matière végétale fournie à la surface du sol par l'appareil aérien est, au contraire, assez limitée. Il en résulte que les profils organiques des sols couverts par ces formations végétales sont les mêmes que ceux des sols sous végétation forestière, les taux, dans une région donnée, étant cependant plus faibles. Le remplacement de la forêt par l'erme ou la steppe est accompagné d'une diminution des taux de matière organique mais sans modification de la courbe de répartition en fonction de la profondeur ; sauf cependant si la disparition de la forêt est récente : du fait d'une minéralisation plus rapide de la matière organique en surface qu'en profondeur, où la décomposition des grosses racines est longue, le profil organique est pendant un certain temps, nettement plus isohumique.

#### C. Les sols cultivés sans irrigation: développement de l'isohumisme.

Dans les plaines de la Basse Moulouya, l'étude des profils organiques en fonction de certains caractères pédologiques et de certains éléments du milieu (chap. 3, § I-A ; chap. 4, § I-E et II-C-3) a fait ressortir que les modalités de la répartition en profondeur de la matière organique se modifiaient en même temps que :

- la teneur en calcaire de l'horizon Aca ;
- la couleur et la structure de l'horizon At ;
- l'aridité du climat et du pédoclimat.

On doit cependant remarquer que les modifications de ces données sont également accompagnées de la variation :

- d'une part, pour certains d'entre eux, des taux de matière organique avant toute culture (il s'agit surtout de l'aridité) ;
- d'autre part, de la fertilité de ces sols pour la culture sans irrigation.

C'est alors en fonction d'une utilisation agricole plus ou moins intensive de sols, qui, au départ, étaient diversement riches en matière organique, que l'on est amené à interpréter les divers types de profils organiques représentés sur la figure 21 (chap. 3) :

— Les sols à horizons Aca non calcaire et At sombre situés dans les secteurs les moins arides de la cuvette des Triffa, étaient au départ les plus riches en matière organique ; ils sont aussi, grâce aux caractères pédologiques et climatiques, les plus fertiles et sont de ce fait intensément cultivés depuis quelques dizaines d'années : il en est résulté un appauvrissement rapide en matière organique,



le phénomène étant beaucoup plus accentué en surface qu'en profondeur où la décomposition des grosses racines et la minéralisation de la matière organique sont des processus lents ; ainsi s'explique le profil actuel très isohumique de ces sols (courbe 2).

— Au contraire, dans les zones arides du Zebra, les sols à horizons Aca très calcaire et At clair, étaient au départ les moins riches en matière organique et sont actuellement les moins fertiles : le remplacement du matorral ou de la steppe par une culture céréalière dont l'enracinement reste très superficiel et qui n'est pas toujours récoltée, ne modifie pas ou peu le profil de ces sols (courbe 1) on peut même quelquefois constater une répartition moins isohumique sous culture.

Cette utilisation agricole s'accompagne toujours d'un éclaircissement léger, mais net, de la couleur des horizons de surface.

#### D. Conclusions.

L'étude interprétative de la répartition de la matière organique vient donc confirmer et compléter les conclusions qui se sont déjà dégagées de l'exposé des faits :

1. Sous végétation forestière ou steppique, là où l'action de l'homme et de ses animaux domestiques ne dépasse pas le stade du pâturage extensif, les sols à profil textural moyennement différencié et profil calcaire plus ou moins bien différencié, sont caractérisés par un certain type de profil organique qui est le même dans toutes les régions climatiques : seuls les taux changent. Ce profil est celui représenté par l'enveloppe de courbes 1 de la figure 34 : il n'est pas isohumique et ces sols ne sont donc pas des sols isohumiques.

2. Ce profil organique, qui se développe et se modifie rapidement en fonction des variations du couvert végétal, distingue nettement ces sols de ceux à profil textural très différencié dans lesquels le profil organique est beaucoup plus accentué et dont les couleurs de l'At (A<sub>2</sub>) sont plus claires : ces sols à horizons A<sub>2</sub> sont, rappelons-le, déficitaires en calcium.

3. Quand ces sols sont cultivés, ils s'appauvrissent en matière organique (et s'éclaircissent un peu), le phénomène étant plus rapide en surface qu'en profondeur : il en résulte un profil isohumique d'autant plus net que les taux de matière organique étaient plus élevés au départ et que l'utilisation du sol est plus intensive, c'est-à-dire en fait que l'humidité du climat et la fertilité du sol sont plus élevées.

### III. LA DIFFÉRENCIATION DU PROFIL TEXTURAL ARGILEUX

Les mécanismes responsables de la différenciation texturale argileuse, et en particulier de la formation d'un horizon B textural, dans les sols calcomagnésimorphes, isohumiques subtropicaux et fersiallitiques méditerranéens, font depuis longtemps l'objet de recherches, d'interprétations et de discussions nombreuses.

Résumons-en l'essentiel :

— Il est unanimement admis que l'augmentation des taux d'argile, observée au niveau de l'horizon Bt, est surtout le résultat d'une altération sur place des minéraux qui existaient dans les fractions limoneuses, sableuses et graveleuses (micas, feldspaths, pélites, calcaires, etc.).

— La discussion porte principalement sur le rôle que l'on doit attribuer à la migration verticale des éléments fins, argileux, pour donner naissance aux horizons At et accentuer la richesse en argile des horizons Bt. De nombreux auteurs donnent beaucoup d'importance à ces phénomènes de lessivage dont ils retrouvent les preuves, c'est-à-dire surtout des revêtements argileux, jusqu'aux portes du Sahara et dans tous les types de sols, qu'ils soient calcaires ou non. D'autres, au contraire, ont tendance à restreindre les phénomènes de lessivage ; dans certains sols, ils les estiment très réduits (zones arides, sols calcaires, poches karstiques).

Les quelques faits présentés à ce sujet dans les chapitres 2 (§ II-B), 4, 5 et 6 (§ II) apportent à cette discussion des arguments nouveaux qui permettent une meilleure approche de certains mécanismes.

1. On peut admettre avec SMITH et BUOL (1968) que dans ces sols des régions arides et semi-arides, la vitesse et l'intensité de l'altération des roches et des minéraux sont maximums dans les horizons supérieurs et diminuent avec la profondeur. La dégradation des minéraux argileux, toujours plus accentuée dans les horizons de surface que dans les horizons B (chap. 3, § IV ; chap. 5) nous en fournit une preuve.

2. Dans les horizons superficiels, les éléments fins et les ions qui résultent de l'altération (fragmentation et hydrolyse) sont entraînés, donnant naissance à un horizon At qui est plus pauvre en éléments fins que l'horizon C. Il y a en somme appauvrissement, dont l'importance diminue rapidement avec la profondeur. Il s'accroît considérablement dès que la partie supérieure du sol n'est plus suralimentée en calcium (roches pauvres en calcium, sous le sol et à l'amont, milieux perméables, climat suffisamment humide : chap. 5 et 6) : des horizons A<sub>2</sub> prennent alors naissance.

3. En profondeur, dans les horizons Bt, on ne retrouve qu'une faible partie des éléments fins éliminés des horizons de surface. L'entraînement des ions et des particules est donc en partie latéral.

4. Les observations micromorphologiques démontrent que les lissages observés à l'œil nu sur les faces des agrégats des horizons Bt et Bca, ne sont pas de véritables revêtements argileux. Cependant, les « cutans », au sens de BREWER (1964), ne sont pas totalement absents des sols : on les retrouve surtout autour des grains de sable ou dispersés dans la masse du plasma ; ils sont d'autant plus nombreux que les matériaux sont moins calcaires et plus argileux. Ces « cutans » peuvent résulter de deux types de mécanismes :

— phénomènes de tensions et de pressions qui peuvent orienter les particules argileuses (LAMOUROUX, 1968 b ; SMITH et BUOL, 1968 ; NETTLETON, FLACH et BRASHER, 1969) ;

— dispersion, migration et dépôt orienté des éléments fins : dans ces horizons dont la stabilité structurale est toujours faible, ces phénomènes peuvent fonctionner pendant des temps très brefs à chaque fois que les sols secs sont humidifiés (U.S.D.A., 1967 ; GILE et GROSSMAN, 1968).

Ces deux types de mécanismes se développent d'autant mieux que les matériaux sont moins calcaires et plus argileux, et il est difficile, dans l'état actuel des connaissances, de déceler lequel est le plus important.

5. L'importance du rôle des migrations verticales de particules fines dans l'enrichissement en argile des horizons Bt, reste donc pour l'instant difficile à définir. La rareté des revêtements argileux sur les parois des pores et des agrégats, semblerait prouver que ce rôle est limité. Mais on peut aussi envisager :

— que les « cutans » sont régulièrement inclus dans les agrégats, ou détruits, du fait du renouvellement fréquent des phénomènes de gonflement et de rétraction (SMITH et BUOL, 1968 ; NETTLETON, FLACH et BRASHER, 1969) et des brassages d'origine biologique (LAMOUROUX, 1967, 1968 a).

— que les « cutans » que l'on observe actuellement dans les agrégats sont fossiles, témoignant de périodes plus humides (GILE et GROSSMAN, 1968) ;

— que l'entraînement vertical ne nécessite pas une dispersion totale des éléments qui migrent, pendant de longues durées, dispersion difficile dans les milieux sursaturés en calcium ; une simple mise en suspension, qui peut s'effectuer à chaque fois qu'une pluie pénètre dans un sol profondé-

ment fissuré par la sécheresse, suffit ; cette migration verticale n'est alors pas suivie de la formation de pellicules d'argile orientée. Cette mise en suspension est également suffisante pour l'entraînement latéral qui s'effectue dans les horizons superficiels.

6. L'argile des horizons Bt résulte, dans certains cas, des mécanismes d'agradation et de néoformation (§ VI du présent chapitre).

7. L'étude des sols sur les surfaces emboîtées (chap. 4, § II-B) montre que la différenciation de l'horizon At se fait rapidement puis ne s'accroît plus avec l'âge. D'autres mécanismes viennent donc limiter les conséquences de l'appauvrissement en éléments fins : érosion superficielle qui rabote lentement la surface, remaniements internes. De même, le développement de l'horizon Bt est rapide, mais il est progressivement ralenti par celui de l'horizon Bca qui vient lentement l'envahir, partiellement ou totalement.

Pour conclure, je pense que l'on peut retenir, provisoirement, en fonction des faits disponibles actuellement, que les deux principaux mécanismes responsables de la différenciation texturale argileuse des sols à profil calcaire, sont :

— l'altération des roches et des minéraux existant dans toutes les fractions texturales ; cette altération, maximum au sommet, diminue avec la profondeur ;

— l'entraînement latéral des ions et des particules, dispersées ou en suspension ; dans les sols sursaturés en calcium dès la surface, cet entraînement, maximum au sommet du profil, diminue rapidement avec la profondeur, la limite inférieure de l'horizon At se plaçant là où cet entraînement latéral n'est plus suffisant pour éliminer les éléments fins accumulés par l'altération *in situ*.

## IV. LA DIFFÉRENCIATION DU PROFIL CALCAIRE

### A. Les principaux problèmes.

Les horizons d'accumulation et d'individualisation du calcaire <sup>1</sup>, si souvent présents dans les sols et les dépôts des régions à climat méditerranéen, ont, depuis longtemps, attiré l'attention et piqué la curiosité de tous ceux qui s'intéressent aux sciences de la terre. La bibliographie sur ce sujet est abondante, rapportant une grande masse d'observations, à partir desquelles de nombreuses hypothèses, souvent très différentes les unes des autres, ont été élaborées pour expliquer la formation de ces horizons.

Dans un article récent (RUELLAN, 1967 b), le point de toute cette bibliographie a été fait. Il ne paraît donc pas nécessaire d'y revenir longuement ici. Il est bon cependant de rappeler que les principales questions auxquelles les différents auteurs essayent de répondre sont les suivantes :

1. Les concentrations discontinues ou continues de calcaire, sont-elles de formation superficielle ou résultent-elles de mécanismes se déroulant à l'intérieur des dépôts ou des sols ?

2. Si on admet que ces horizons très riches en calcaire se sont faits en surface, s'agit-il :

— de dépôts formés dans des lacs ou des marécages ;

— de formations dues à l'évaporation de nappes phréatiques proches de la surface, ou de sources, ou encore de ruissellements superficiels ;

1. J'utiliserai dans ce paragraphe le terme calcaire dans un sens large : il s'agit principalement de carbonate de calcium mais qui est toujours accompagné d'un peu de carbonate de magnésium.

- de boues calcaires répandues sur les glaciis ;
- d'apport éoliens ?

3. Si on admet, au contraire, que ces horizons résultent surtout de processus internes, doit-on penser que les mécanismes sont tous d'ordre pédogénétique ou, au contraire, qu'ils sont partiellement d'ordre diagénétique ?

4. Pour ce qui est des mécanismes pédologiques, les problèmes concernent surtout :

— l'origine du calcaire : vient-il surtout des horizons supérieurs, par lessivage vertical ? ou son origine est-elle au contraire essentiellement latérale ?

— les mécanismes de l'enrichissement en calcaire d'un horizon ; ceux de la concentration du calcaire en un certain nombre de points ; ceux aussi qui permettent le remplacement progressif des particules silicatées par les particules calcaires ;

— le rôle de l'activité microbienne et de l'activité biologique animale et végétale dans la solubilisation, le déplacement et la précipitation des carbonates.

5. Enfin, tous ces mécanismes géologiques ou pédologiques sont-ils lents ou rapides ? Se sont-ils déroulés dans le cadre de milieux voisins ou très différents de ceux que nous connaissons aujourd'hui ? Ces horizons sont-ils fossiles (anciens ou récents) ou encore en voie de formation ?

Dans ce même article (RUELLAN, 1967 b) qui développe certains aspects pédologiques d'un article plus général sur le Quaternaire marocain (BEAUDET, MAURER, RUELLAN, 1967), quelques solutions ont été proposées à la plupart de ces problèmes. L'essentiel en sera repris ci-dessous en tenant compte des observations qui ont pu être faites depuis.

Il est bien entendu que toutes les hypothèses qui vont être présentées dans ce paragraphe n'ont pas la prétention d'être généralisables à toutes les formations calcaires présentes dans le Quaternaire marocain. Elles ne concernent que les horizons décrits dans les première et deuxième parties de cette étude.

## B. Synthèse des faits.

L'exposé des faits, et certaines des interprétations avancées pour comprendre la mise en place des matériaux, nous ont déjà conduits à quelques conclusions qu'il est bon de rappeler, de préciser et de compléter.

1. Les horizons Aca et Bca, définis dans le § I-C du chapitre 2, sont bien des horizons pédologiques et non des niveaux sédimentaires : la démonstration en a été faite à plusieurs reprises, en particulier dans le § I-B-1 du présent chapitre. Ces horizons ont été cependant souvent remaniés, surtout Aca, ce qui a modifié certains profils calcaires d'une façon importante.

2. Au cours de leur formation les horizons Aca et Bca paraissent cependant avoir évolué de façon assez indépendante l'un de l'autre. En effet :

— Il n'y a pas de rapports entre les épaisseurs et les teneurs en calcaire de ces deux horizons (chap. 2, § I-C-3).

— L'étude des sols sur les terrasses quaternaires (chap. 4, § II-B) montre que le développement de l'épaisseur et de la richesse en calcaire des horizons Bca, en fonction de l'âge, n'est pas accompagné de la décarbonatation progressive de l'horizon Aca : cet horizon atteint rapidement des teneurs minimum qui ne se modifient plus quand le sol paraît vieillir ; ces teneurs minimum sont variables selon les roches-mères, les climats et les situations géomorphologiques. Les carbonates qui s'accumulent en Bca n'ont donc pas pour origine principale la décarbonatation de l'horizon Aca par le lessivage vertical.

3. La morphologie des horizons Bca dépend partiellement des matériaux dans lesquels ils se sont formés, en particulier de leur texture et de leur perméabilité. Par contre, il n'y a pas de rapport entre les teneurs en calcaire des horizons Bca et C : on sait, par exemple, que l'horizon Bca existe souvent dans des sols dont la roche-mère n'est ni calcaire, ni même riche en calcium (chap. 2, § I-C-4 ; chap. 5 et 6) ; cela serait en particulier le cas de la plupart des sols de plaines à horizon Aca non calcaire (chap. 7, § I-A).

4. On est donc conduit à penser que la plus grande partie du calcaire qui s'accumule en Bca a une origine latérale. La présence d'un amont calcaire étant cependant toujours indispensable, les rôles du vent et de la pluie paraissent limités et c'est en fait à l'eau qui circule sur, dans et sous les sols que revient l'essentiel du travail.

5. Enfin, les divers types d'horizons Bca sont étroitement associés, sans solutions de continuité, verticalement dans les sols et latéralement dans les chaînes de sols (chap. 2, § I-C-5 et 6). Il paraît donc difficile de penser que chacun de ces types résulte de mécanismes et témoigne de milieux très différents les uns des autres, et que leurs formations ont été très décalées dans le temps. Seules les pellicules rubanées paraissent assez indépendantes des autres types.

### C. Interprétation des principaux mécanismes.

#### 1. *Le transport oblique du calcaire par l'eau.*

Le transport oblique du calcaire par l'eau s'effectue soit sous la forme de particules de carbonates, soit en solution sous la forme de bicarbonates et d'ions calcium (ou magnésium).

a *Le déplacement du calcaire sous la forme de particules* est surtout un phénomène de surface, dû aux mécanismes de remaniements superficiels décrits dans le § I-B-3-a du présent chapitre. Par érosion et accumulation en nappe ou linéaire, des matériaux calcaires peuvent ainsi être transportés, par étapes successives, sur de grandes distances : au cours de leur transport, ces matériaux sont progressivement dissous, par les eaux de pluies ou après pénétration dans le sol sous l'effet des remaniements internes ; ils viennent ainsi enrichir en calcaire les sols par-dessus lesquels ils circulent. Les remaniements internes (§ I-B-3-b) déplacent aussi latéralement des masses importantes de calcaire, mais sur des distances plus faibles.

b *Le déplacement des bicarbonates et des ions calcium (ou magnésium) en solution*, peut s'effectuer à trois niveaux différents :

1. *En surface* : l'eau de pluie, qui ne peut s'infiltrer complètement dès qu'elle arrive au sol, ruisselle pendant un certain temps. Quand elle tombe sur un sol calcaire, elle se charge rapidement en bicarbonates (CRAHET, 1967 ; ROQUES, 1967), en calcium et en magnésium, qu'elle va déplacer vers l'aval. Cette circulation superficielle peut également se faire à la suite de résurgences.

2. *Dans les sols* : l'eau de pluie qui a pénétré dans les sols ne circule pas que verticalement. Guidée par la pente, par la porosité radiculaire et animale, par les ruptures de perméabilité, elle poursuit en partie son déplacement latéral. Etant donné, cependant, l'action de la gravité et l'existence d'une porosité en partie verticale, la résultante moyenne des mouvements est en fait oblique par rapport à la surface. Cette circulation latérale est grandement facilitée par la présence dans le sol de niveaux à texture grossière, les cailloutis en particulier. Il faut par ailleurs souligner que, étant donné l'abondance du  $\text{CO}_2$  produit dans les sols, ces eaux transportent des quantités beaucoup plus importantes de bicarbonates qu'en surface.

3. *Sous les sols* : cette circulation oblique des eaux, en milieu non saturé, peut se poursuivre profondément si la perméabilité des matériaux et l'alimentation en eau sont suffisantes. Mais, en

profondeur, la migration latérale des bicarbonates, du calcium et du magnésium, dépend aussi de la circulation des nappes phréatiques, temporaires ou permanentes, à partir desquelles les solutions peuvent, par capillarité, remonter vers les sols.

L'importance de ces mécanismes dépend des quantités de calcium et de magnésium disponibles à l'amont, des conditions de relief, de la perméabilité des matériaux, des caractères climatiques. En particulier :

— Dans les horizons C, l'envahissement par le calcaire atteint des profondeurs et des distances d'autant plus grandes que les matériaux sont plus perméables et les climats plus humides.

— Dans les horizons A et B, l'envahissement par le calcaire est d'autant moins profond et plus lointain que les climats sont plus arides et les matériaux moins perméables. En effet, quand le drainage est limité, les carbonates sont difficilement éliminés des sols et, le long d'une pente, ils peuvent alors être dissous, transportés latéralement et reprécipités dans les sols à plusieurs reprises : leur migration, bien que plus lente, peut ainsi être, par étapes successives, plus lointaine. Ainsi comprend-on pourquoi des sols à profil calcaire différencié sur roches non calcaires sont présents jusqu'à des distances d'autant plus grandes de l'amont calcaire que le climat est plus aride (chap. 6, § I-A-4).

## 2. Le développement de l'horizon Aca.

L'horizon Aca, qui apparaît comme un horizon appauvri en carbonates, est en fait le résultat de l'action de deux groupes de mécanismes :

- des mécanismes qui, effectivement, appauvrissent et épaississent cet horizon Aca ;
- des mécanismes qui, au contraire, l'enrichissent en carbonates et l'amincissent, empêchant que son développement s'accroisse avec l'âge.

### a Les mécanismes de l'appauvrissement en calcaire et l'épaississement de l'horizon Aca.

Trois mécanismes principaux peuvent être responsables de l'appauvrissement en calcaire et de l'épaississement de l'horizon Aca :

1. *La solubilisation du calcaire*, fonction des quantités d'eau et de  $\text{CO}_2$  disponibles. Du fait de l'activité microbiologique et biologique, animale et végétale, et de la décomposition des matières organiques, c'est dans les horizons supérieurs des sols que les productions de  $\text{CO}_2$  sont les plus élevées : à chaque fois que le sol est humidifié des quantités importantes de bicarbonates peuvent donc être solubilisées ; ces quantités diminuent avec la profondeur du fait d'une plus grande pauvreté en  $\text{CO}_2$  et en eau.

2. *La migration vers la profondeur des solutions enrichies en bicarbonates*, l'importance de cette migration (volume, vitesse, profondeur atteinte) étant fonction des quantités d'eau qui pénètrent dans le sol par la surface, de l'évapotranspiration, de la perméabilité des matériaux.

3. *Les remaniements superficiels* qui amènent au bas des pentes, dans les bas-fonds, des matériaux arrachés aux horizons de surface des sols situés à l'amont.

Ainsi peut-on s'expliquer que, d'une façon générale, les horizons Aca :

- sont moins calcaires et plus épais quand le climat est moins aride, la végétation mieux développée, les roches et les sols plus perméables ;
- contiennent moins de cailloux et graviers calcaires que les horizons Bca ;
- sont plus épais dans les zones déprimées.

### b Les mécanismes de l'enrichissement en calcaire et de l'amincissement de l'horizon Aca.

Les mécanismes qui s'opposent au développement de l'horizon Aca sont principalement au nombre de six :

1. *La diffusion dans l'atmosphère du  $\text{CO}_2$  produit dans le sol* : ce phénomène n'est important que tout à fait superficiellement ou dans les sols très perméables ; il limite la dissolution des carbonates.

2. *L'évapotranspiration* qui réduit les quantités d'eau qui peuvent percoler en profondeur et qui provoque la remontée des solutions vers la surface.

3. *Le transport oblique du calcaire* décrit dans les pages précédentes : transport en surface sous forme de particules et circulation des solutions en surface et au sein de l'horizon Aca.

4. *Les remaniements internes*, décrits dans le § I-B-3-b de ce chapitre, qui ramènent en permanence, vers la surface, du calcaire prélevé dans les horizons Bca ; ce retour est d'autant plus important que l'horizon Bca est plus calcaire et moins profond.

5. *Les remaniements superficiels*, c'est-à-dire surtout l'érosion en nappe et en fines rigoles (§ I-B-3-a de ce chapitre), qui décaperont plus ou moins rapidement la surface des sols selon leurs situations topographiques.

6. *Les travaux agricoles*.

Ainsi peut-on s'expliquer que :

- les horizons Aca sont d'autant plus souvent calcaires que le climat est plus aride ;
- la teneur en calcaire est fréquemment plus élevée dans les tous premiers centimètres du sol que juste dessous ;
- les horizons Aca sont moins épais sur les buttes, sur les rebords de plateaux ou de terrasses, sur les pentes, autant de zones sensibles à l'érosion ;
- dans un secteur donné, les horizons Aca des sols encroûtés sont souvent plus calcaires que ceux des sols qui ne le sont pas ;
- les sols encroûtés et les sols situés à l'aval d'une importante source de calcaire ou dans une zone d'érosion assez active, peuvent avoir des horizons Aca plus calcaires que les horizons C ; ceci est d'autant plus fréquent que le milieu est plus aride ;
- les sols cultivés sont souvent plus calcaires tout à fait en surface que les sols non cultivés.

c *Les étapes du développement de l'horizon Aca.*

En fonction de l'importance relative que les divers mécanismes, décrits ci-dessus, peuvent prendre successivement, il y a quatre étapes principales dans le développement de l'horizon Aca d'un sol à profil calcaire différencié, situé sur une surface dont les principales caractéristiques géomorphologiques se modifient peu :

1. A partir d'un matériau calcaire, la tendance est d'abord à la décarbonatation. Elle se fera d'autant mieux, d'autant plus profondément que le milieu est moins aride, la roche moins calcaire, moins altérable, plus perméable, la pente moins forte, la végétation mieux développée. En même temps, cependant, les mécanismes contraires, qui ont tendance à amincir et enrichir en calcaire l'horizon Aca, se développent progressivement, d'autant mieux que le milieu est plus aride, le bassin versant plus calcaire, la pente plus forte, la végétation moins développée.

2. Entre ces deux groupes de mécanismes, un équilibre est bientôt atteint, en quelques milliers d'années environ (chap. 4, § II-B) : une deuxième étape commence alors, au cours de laquelle, tandis que l'horizon Bca continue à se développer en profondeur, l'horizon Aca ne se modifie pratiquement plus, se comportant comme s'il n'était plus qu'un niveau de transit pour une partie du calcaire qui s'accumule en Bca.

3. L'horizon Bca continuant à se développer, les conditions sont bientôt réunies pour le départ d'une troisième étape au cours de laquelle l'horizon Aca va s'enrichir en calcaire et s'amincir. En effet, surtout à partir du moment où les encroûtements apparaissent, la perméabilité du sol est de plus en plus freinée par le développement de l'accumulation du calcaire, les remaniements internes ramènent vers Aca des éléments de plus en plus calcaires prélevés dans le Bca, et la poursuite de l'accumulation du calcaire a tendance à développer et à remonter le sommet de l'horizon Bca (§ IV-C-3 ci-dessous).

4. Enfin, dès que l'encroûtement est bien formé, limitant les enracinements et les échanges hydriques et biologiques entre les horizons A, B et C, une quatrième étape commence au cours de laquelle l'horizon Aca évolue de plus en plus en fonction et aux dépens de l'encroûtement. Selon la situation géomorphologique, deux cas principaux sont alors possibles :

— On est dans un secteur, en général aval, où les mécanismes de remaniements n'amincissent pas ou épaississent l'horizon Aca. Un nouvel horizon Bca va alors se développer au-dessus de l'encroûtement, dans la partie inférieure de l'Aca, le calcaire étant à la fois fourni par l'encroûtement sous-jacent et par les apports latéraux. Ainsi prennent naissance des horizons Bca double ou triple, tels ceux présentés sur la figure 30 (chap. 4, § II-C-1-b).

— On est dans un secteur où l'érosion use lentement la surface. L'horizon Aca actuel n'est alors plus celui sous lequel l'accumulation du calcaire a commencé son développement : cet horizon Aca s'est redéveloppé aux dépens de l'encroûtement en acquérant des caractères variables selon les zones climatiques et les faciès de l'encroûtement. En particulier :

en milieu aride ou sur un encroûtement friable, l'Aca reste calcaire : on est alors en présence de ce que l'on appelle classiquement un sol calcomagnésimorphe sur encroûtement ; cet encroûtement est souvent profondément altéré.

en milieu plus humide, et si l'encroûtement est couronné d'une épaisse dalle compacte dont le comportement est identique à celui d'un calcaire dur, l'Aca peut être décarbonaté, rouge, argileux : un sol rouge méditerranéen s'est développé aux dépens de la dalle qui s'est karstifiée.

En fait d'ailleurs, ce n'est pas seulement un horizon Aca qui se redéveloppe aux dépens de l'encroûtement, mais tout un sol avec en particulier très souvent des horizons Bca : ainsi peut aussi s'expliquer la présence de certains horizons Bca doubles.

### 3. Le développement de l'horizon Bca.

Le développement progressif de l'horizon Bca en fonction du temps (chap. 4, § II-B), de sa richesse, de son épaisseur, de ses divers faciès étroitement associés verticalement et latéralement selon des règles précises (chap. 2, § I-C), est le résultat de trois types de mécanismes :

- l'enrichissement en carbonates (il s'agit surtout de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) ;
- la concentration du calcaire sous forme discontinue : il y a formation d'amas friables et nodules ;
- la concentration du calcaire sous forme continue : c'est le phénomène d'encroûtement.

#### a L'enrichissement en calcaire.

L'accumulation du calcaire dans l'horizon Bca est le phénomène le plus important de toute la pédogenèse des sols à profil calcaire différencié.

#### 1. Cette accumulation implique deux mécanismes :

- l'apport des carbonates : nous l'avons étudié ci-dessus (§ C-1) ;
- le stockage des carbonates : il s'agit surtout de la précipitation des bicarbonates apportés par les solutions.

#### 2. La précipitation des bicarbonates est due à la concentration des solutions ou à l'évasion du $\text{CO}_2$ :

— Au fur et à mesure que les solutions circulent, en provenance (verticale et oblique) de la surface par percolation, ou de la profondeur par remontée capillaire, leur eau est utilisée par tout ce qui vit et en particulier par les racines. Elles sont donc progressivement *concentrées*. Jusqu'à une certaine profondeur, cette concentration, compensée par une forte production de  $\text{CO}_2$ , d'origine biologique, ne provoque pas la précipitation des carbonates : c'est l'horizon Aca. Au-delà de cette profondeur, dont la mesure est variable selon les milieux, selon les saisons, selon les quantités de solutions fournies à chaque fois au sol, la concentration continue à augmenter et la production du  $\text{CO}_2$  tend à diminuer (baisse de l'activité biologique) : les carbonates précipitent. L'agent principal de



cette précipitation est donc l'évapotranspiration : étant donné la profondeur et l'épaisseur des horizons Bca, cette évapotranspiration ne peut être que celle d'une végétation dont l'enracinement reste dense profondément : on imagine facilement qu'il s'agit des forêts et des matorrals qui, naguère, avant leur destruction par l'homme, couvraient ces sols jusqu'aux portes du Sahara.

— La précipitation du calcaire est facilitée si l'évasion du  $\text{CO}_2$  est possible : c'est le cas, par exemple, des horizons à texture grossière, poreux, aérés, qui, nous l'avons vu, sont toujours plus fortement encroûtés que les horizons à texture plus fine qui les entourent.

3. L'accumulation se fait tout d'abord sous une forme diffuse (RUELLAN, 1967 b ; FLACH, NETTLETON, GILE et CADY, 1969) : il y a formation de particules dispersées dans les fractions fines, de revêtements fins et de pseudo-mycéliums sur les faces des agrégats, sur la surface des cailloux, sur les parois des pores creusées par les racines et la faune. Cette accumulation diffuse est cependant bientôt accompagnée par la formation d'amas friables puis de nodules : c'est la concentration, l'individualisation, du calcaire sous forme discontinue.

b *La concentration du calcaire sous forme discontinue : formation des amas friables et des nodules.*

La concentration du calcaire sous forme discontinue se fait là où l'évapotranspiration, ou l'évasion du  $\text{CO}_2$ , sont particulièrement rapides : autour des radicules et dans les vides.

Ce phénomène ne concerne pas seulement le calcaire qui s'accumule, mais aussi le calcaire qui préexiste dans l'horizon : il y a remaniement de ce calcaire qui est solubilisé, transporté, reprécipité, les moteurs principaux de ce remaniement étant biologiques (il y a production de  $\text{CO}_2$  qui dissout les carbonates et évapotranspiration qui déplace et concentre les solutions).

Avec le temps, la richesse et la densité de certains amas augmentent, leur délimitation se précise et, par durcissement, ils peuvent, dans certains horizons, se transformer en nodules. Les mécanismes et les facteurs de cette nodulation restent pour l'instant mystérieux. On peut seulement souligner qu'elle semble favorisée par l'accentuation de l'amplitude et de la fréquence des variations d'humidité ; en effet :

— Elle est particulièrement bien développée dans les horizons Bca des sols différenciés, en régions semi-arides, dans les poches karstiques : ces poches collectent beaucoup d'eau qui est rapidement utilisée par une végétation dont l'enracinement est dense.

— Elle est également plus importante dans les Triffa semi-arides que dans le Zebra aride.

— Elle est enfin, dans une région climatique donnée, en général d'autant mieux développée que la texture des matériaux est plus grossière ; cette observation n'est cependant pas en accord avec celles faites dans le Nouveau Mexique par FLACH, NETTLETON, GILE et CADY (1969) qui constatent, au contraire, que la cimentation des premiers petits nodules qui se forment dans un horizon Bca est plus accentuée dans les milieux argileux où il n'y a pas beaucoup de place pour la croissance des minéraux, que dans les milieux plus grossiers.

Dans les horizons C, les amas friables et les nodules sont souvent présents jusqu'à de grandes profondeurs (chap. 2, § I-B). Deux types de mécanismes peuvent expliquer leur formation :

— Des mécanismes d'ordre pédogénétique tels ceux décrits ci-dessus : ces horizons profonds à amas friables et nodules seraient alors des horizons Bca formés pendant la mise en place des matériaux. On ne retrouve cependant jamais dans les dépôts d'autres caractères permettant de délimiter des sols enterrés. Par ailleurs, ceci impliquerait que la mise en place des alluvions et des colluvions fut très lente, ce qui paraît improbable (§ I du présent chapitre).

— Des mécanismes profonds d'ordre diagénétique. Il peut s'agir, selon les cas :

du ressuyage de matériaux calcaires très humides lors de leur mise en place : le dépôt se structure et le calcaire se concentre dans les vides ;

du résultat de la circulation temporaire de solutions ou de nappes phréatiques. Ces solutions transportent des bicarbonates et du calcium qui proviennent des niveaux pédogénétiques situés au-dessus et à l'amont ; la précipitation et la concentration des carbonates se font en fonction des variations d'humidité.

Précisons que l'accumulation et la concentration du calcaire dans les horizons profonds ne sont pas des phénomènes réservés aux formations quaternaires. A l'aval de ressources importantes en calcium, toute roche suffisamment perméable peut être enrichie en calcaire : le cas est fréquent dans les grès, dans les plans de stratification et de schistosité des schistes, dans les diaclases des basaltes et des granites, etc.

*c Le développement des encroûtements.*

Si l'accumulation du calcaire, sous forme diffuse ou concentrée, se poursuit pendant un temps suffisamment long, des encroûtements prennent naissance.

1. Le temps nécessaire pour l'apparition des premiers encroûtements, non feuilletés, est variable selon les situations climatiques, géomorphologiques et pétrographiques (chap. 2, § I-C; chap. 4, § I-A, II-B, II-C-I; chap. 6, § I). Partout cependant, ils sont rares dans les sols situés sur les niveaux datés du Soltanien et ils se généralisent dans ceux différenciés sur les surfaces du Tensif-tien récent.

2. Le développement de l'accumulation du calcaire, qui s'accompagne d'une augmentation de la densité apparente de l'horizon Bca, implique nécessairement aussi le déplacement des particules non calcaires qui préexistent. Dans ces sols, où l'altération des minéraux n'est pas très élevée, cette migration ne se fait pas uniquement sous forme soluble. Il y a aussi migration d'éléments solides, probablement sous l'effet des fortes pressions développées par la cristallisation des carbonates.

3. La formation préférentielle d'un encroûtement massif ou nodulaire dépend du type d'accumulation qui s'est développé jusque là. Un horizon à amas friables se transforme en encroûtement massif, alors qu'un horizon à nodules donne naissance à un encroûtement nodulaire qui peut durcir assez rapidement.

4. Au fur et à mesure que l'encroûtement se développe, la stérilité chimique de cet horizon et sa compacité obligent l'enracinement à être de plus en plus superficiel. Par ailleurs, la perméabilité diminue et la circulation des eaux devient aussi de plus en plus superficielle. L'accumulation du calcaire se poursuit donc dans des niveaux de plus en plus élevés de l'encroûtement, le sommet du Bca remonte dans le Aca et devient progressivement le niveau le plus riche en calcaire.

5. La baisse de perméabilité de l'horizon supérieur de l'encroûtement et son rapprochement de la surface, conséquences de la poursuite de son enrichissement en calcaire, entraînent, sous l'effet des pluies et de l'évapotranspiration, une accentuation des variations d'humidité : il s'engorge et s'assèche rapidement de plus en plus souvent. Ainsi prennent naissance et se développent le feuilletage et le durcissement du sommet de l'encroûtement : il se transforme en croûte puis en dalle compacte. Il s'agit là d'un phénomène très lent ; les croûtes les plus jeunes ont 15 à 20 000 ans et les dalles compactes ne sont en général nettement développées qu'après plusieurs centaines de milliers d'années d'évolution. Bien entendu, tout ce qui favorise l'alimentation en calcaire et les variations d'humidité, accélère la formation des encroûtements feuilletés : amont calcaire important, matériaux à texture grossière, pente suffisante, rupture de pente convexe (rebord d'une terrasse ou d'un plateau), profondeur faible de l'encroûtement (ce qui est le cas des régions arides). La croûte sera d'autant plus feuilletée, plus durcie et plus épaisse que les alternances d'humidification et d'assèchement auront été plus fréquentes et plus accentuées pendant un temps plus long.

6. Dès que le sommet d'un encroûtement constitue une surface assez imperméable, des petites nappes d'eau libre peuvent y circuler temporairement, après chaque pluie, et s'évaporer en déposant de fines lamelles de carbonates : ainsi naissent les pellicules rubanées, d'autant plus facilement que la surface est située moins profondément dans le sol. Elles peuvent également se développer entre les feuilletés de croûtes, sur les surfaces verticales des éléments d'une croûte ou d'une dalle brisée, et d'une façon générale, sur toute surface où une pellicule d'eau chargée en carbonate peut circuler et s'évaporer. La formation de ces pellicules rubanées est un phénomène rapide : sur les coupes ouvertes le long des routes, on les voit se développer actuellement. Il est donc probable,

qu'au cours des temps, elles se sont formées et ont été détruites à plusieurs reprises : on retrouve d'ailleurs souvent, au sommet des croûtes, plusieurs générations de pellicules rubanées qui se recourent entre elles.

#### D. Conclusions.

De cette étude interprétative de la dynamique du calcaire dans les paysages où se développent des sols à profil calcaire différencié, les principales conclusions et leçons qui se dégagent, sont les suivantes :

1. L'horizon Bca est un horizon d'accumulation du calcaire :

— Le calcaire qui y parvient, a une origine essentiellement latérale, à partir de milieux calcaires ou calciques situés en amont. Ces milieux d'origine peuvent être d'autant plus lointains que le climat est plus aride. Pour l'essentiel, cette migration se fait en solution, sur, dans et sous les sols.

— Le calcaire s'accumule autour de la partie moyenne et inférieure d'un système racinaire puissant et profond qui ne peut être que celui d'une forêt ou d'un matorral. La profondeur de l'accumulation est celle à laquelle la concentration des solutions, qui s'effectue par évapotranspiration, n'est plus compensée par la production de  $\text{CO}_2$  d'origine biologique : les carbonates précipitent. Dans les milieux poreux l'évasion du  $\text{CO}_2$  accélère cette précipitation.

— L'accumulation se développe lentement. Elle commence sous une forme diffuse, accompagnée de pseudo-mycéliums. Puis, plus ou moins rapidement selon les milieux climatiques, géomorphologiques et pétrographiques, les formes concentrées apparaissent : ce sont d'abord des amas friables, puis, dans certains cas, des nodules, enfin des encroûtements qui durcissent, se feuilletent (croûte) et se pétrifient (dalle compacte). Toutes ces formes sont donc génétiquement liées ; ce sont des stades du développement de l'horizon Bca. Au sommet des encroûtements suffisamment durcis, des pellicules rubanées peuvent se former rapidement par circulation et évaporation de petites nappes d'eau libre.

2. Au-dessus de l'horizon Bca, l'horizon Aca, qui apparaît appauvri en calcaire, résulte de l'action de deux groupes de mécanismes :

— Des mécanismes qui effectivement l'appauvrissent et l'épaississent.

— Des mécanismes qui, au contraire, enrichissent Aca en calcaire ou l'amincissent. Au cours de la différenciation des sols, ces mécanismes prennent de plus en plus d'importance, surtout au fur et à mesure du développement de l'horizon Bca qui constitue, pour la réalimentation en calcaire de l'horizon Aca, une source de plus en plus riche. Ainsi s'explique que la décarbonatation de l'horizon Aca atteigne assez rapidement un niveau minimum qui ne s'accroît plus avec l'âge : quand les encroûtements apparaissent, il peut même se recalcariser.

3. Sous l'horizon Bca, le calcaire s'accumule et se concentre aussi dans les horizons C : c'est surtout le résultat de la circulation temporaire de solutions et de nappes phréatiques.

4. La plupart des mécanismes qui concourent à la différenciation du profil calcaire sont lents ; les sols les plus évolués, qui présentent un encroûtement à dalle compacte, ne sont fréquents que sur les vieilles surfaces villafranchiennes : ceci représente plusieurs centaines de milliers d'années d'évolution.

## V. LA SALINISATION ET L'ALCALISATION DES SOLS

Dans ce paragraphe consacré à une brève interprétation des mécanismes qui peuvent être à l'origine de la salinisation et de l'alcalisation de certains sols à profil calcaire différencié, trois groupes de sols ne seront pas concernés (chap. 6, § IV-E) :

— Les sols halomorphes, dont la morphologie traduit la présence de la salure et de l'alcalisation (RUELLAN, 1968 b).

— Les sols dans lesquels les phénomènes de salure et d'alcalisation, sans action sur la morphologie du profil, s'expliquent par la présence d'une nappe phréatique profonde.

— Les sols irrigués avec des eaux plus ou moins salées.

Seuls les sols sans nappe phréatique actuelle sont donc étudiés ici : la salure et l'alcalisation n'y affectent en général, quand elles sont présentes, que les horizons Bca et C. En Basse Moulouya, c'est le cas le plus fréquent.

D'après les faits qui ont été exposés (chap. 3, § III ; chap. 4, § I-G, II-B, II-C-3 ; chap. 6, § IV-E), deux groupes de phénomènes doivent être distingués :

— L'accumulation de sels solubles, et l'alcalisation par adsorption de sodium sur le complexe adsorbant.

— L'alcalisation par accumulation du magnésium, sur le complexe adsorbant et sous forme de carbonate.

### A. Les mécanismes de la salinisation et de l'alcalisation sodique.

1. *L'origine des sels* est triple :

— l'altération des roches ;

— les embruns marins ;

— les sols halomorphes, les sebkhas et les lacs salés des zones très arides, où les vents peuvent se charger en sels.

2. *Le lessivage* élimine rapidement de la surface les sels fournis par l'altération ou les apports superficiels, et, comme pour le calcaire, les migrations se font dans deux directions : verticale et latérale.

— En ce qui concerne les *migrations verticales*, les sels sont éliminés d'autant plus profondément et plus rapidement que le climat est plus humide, les roches plus pauvres en sels, le milieu plus perméable : en dehors des zones arides, les horizons Bca et C des sols ne sont salés que tout à fait en bordure de la mer ou sur des roches salées et peu perméables, telles les argiles et les marnes du Trias ou du Miocène.

— *Les migrations obliques* prennent, au niveau des sols, d'autant plus d'importance, par rapport aux migrations verticales, que le climat est plus aride, la roche-mère moins perméable, le relief plus accentué.

3. *L'accumulation des sels*, lessivés des horizons de surface ou amenés latéralement dans les zones aval, ainsi que *l'alcalisation* des complexes adsorbants par le sodium (toujours accompagné de potassium), se font à deux niveaux :

a. *En profondeur*, dans les horizons C, il peut y avoir :

— Accumulation de matériaux salés (colluvions fournies par des marnes salées, par exemple); le cas est rare en Basse Moulouya.

— Salinisation et alcalisation par circulation profonde des eaux, sous forme diffuse ou phréatique, ces eaux s'étant chargées en sels dans les horizons de surface et dans les zones amont. Ces phénomènes sont d'autant plus importants que l'ensemble du milieu, amont plus aval, est plus aride. En effet, les solutions sont de plus en plus concentrées, circulent de plus en plus lentement et s'exportent de moins en moins vers un aval plus lointain. Ainsi s'explique la généralisation des phénomènes de salure et d'alcalisation sodique dans les dépôts quaternaires quand on va des Triffa semi-arides, dominés par les Bni-Snassène subhumides, vers le Zebra aride dont les amonts montagneux sont semi-arides. Ainsi s'explique aussi que dans les Triffa ces phénomènes ne s'accroissent pas en fonction du temps : la tendance y est nettement à l'exportation des sels solubles; dans le Zebra, au contraire, il y a stockage progressif des sels : les taux n'y sont que de 1‰ dans les dépôts du Rharien, mais atteignent 5 à 10‰ dans ceux du Quaternaire moyen et peuvent dépasser 50‰ dans les formations villafranchiennes.

b. Dans les sols, l'importance et la profondeur du développement des phénomènes de salinisation et d'alcalisation sodique, dépendent étroitement du régime hydrique et en particulier de la valeur du drainage vertical par rapport à l'évapotranspiration : ceci détermine en effet à quel niveau les solutions migrant obliquement se concentrent.

— Ils n'apparaissent que dans les milieux arides : des Triffa vers le Zebra, on les voit progressivement remonter vers les horizons Bca, et quand on se dirige vers des régions encore plus arides, ils se rapprochent de plus en plus de la surface.

— Ils varient très rapidement en fonction du relief et du microrelief, prenant de l'importance et se rapprochant de la surface à chaque fois qu'est limité le drainage vers la profondeur des solutions migrant obliquement : leur développement s'effectue d'ailleurs un peu parallèlement à celui des horizons Bca (chap. 4, § II-C-3).

— Ils ne s'accroissent pas en fonction du temps : les sels qui s'accumulent pendant les années sèches sont lessivés hors des profils lors des périodes plus pluvieuses. Cette accentuation ne se produit que dans des régions nettement plus arides que la Basse Moulouya.

## B. Les mécanismes de l'alcalisation magnésienne.

Le magnésium, responsable partiellement de l'alcalisation des sols, est présent et s'accumule sous deux formes (RUELLAN, 1964 c, 1965 b) :

1. De fines particules contenant du carbonate de magnésium : des proportions très faibles de ce carbonate (de l'ordre de 1% de la terre fine) plus soluble que le carbonate de calcium, suffisent pour communiquer aux sols des pH très élevés, supérieurs à 9. Ces particules sont soit des éléments de roches calcaires qui contiennent toujours de la dolomite et de la calcite magnésienne, soit le résultat des mécanismes d'accumulation des carbonates.

2. Du magnésium adsorbé sur le complexe adsorbant, dont les proportions augmentent en profondeur, en particulier au niveau de l'horizon Bca. Cette augmentation s'explique par des mécanismes étudiés récemment par LEPOUTRE et SAUVAGEOT (1969) : lors de la concentration des solutions au niveau de l'horizon Bca, le  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , moins soluble que le  $\text{CO}_3\text{Mg}$ , précipite avant lui; il y a donc augmentation progressive, dans la solution du sol, de la concentration en magnésium et du rapport  $\text{Mg}/\text{Ca}$  : il s'ensuit sur le complexe adsorbant, qui recherche l'équilibre avec la solution du sol, une désorption du calcium qui est remplacé par du magnésium. D'après LEPOUTRE et SAUVAGEOT, des proportions proches de 100% de magnésium peuvent ainsi être atteintes sur les complexes adsorbants de certains horizons Bca. Le phénomène se développe d'autant mieux que le milieu est moins bien drainé : les complexes adsorbants sont toujours moins magnésiens, et les pH plus faibles, dans les horizons Bca des sols montagneux, ceci même quand la roche-mère est dolomitique (chap. 5).

### C. Conclusion

Les mécanismes et les facteurs responsables de la salinisation et de l'alcalisation des dépôts et des sols sont donc du même ordre que ceux décrits pour le calcaire.

S'agissant cependant de sels en général beaucoup plus solubles, leur répartition est nettement plus sensible à toutes les modifications du régime hydrique dans l'espace et dans le temps, et leur accumulation ne se développe que dans des régions très arides ou très mal drainées. Seule l'alcalisation d'origine magnésienne apparaît étroitement associée à l'accumulation du calcaire.

## VI. L'ÉVOLUTION DES MINÉRAUX ARGILEUX

Pour comprendre la répartition des minéraux argileux dans les sols des plaines de la Basse Moulouya, et mettre en évidence les mécanismes responsables, il s'avère souhaitable, une fois de plus, de commencer par sortir des plaines pour aller vers cet amont de collines et de montagnes d'où proviennent déjà les matériaux et les solutions chargées de calcaire et de sels (ce paragraphe résume et complète les publications récentes de MILLOT, PAQUET et RUELLAN, 1969 ; PAQUET, RUELLAN, TARDY et MILLOT, 1969 ; PAQUET, 1969).

### A. L'évolution des minéraux argileux dans les sols des zones montagneuses de la Basse Moulouya.

Deux groupes de sols se partagent, rappelons-le, la couverture de la plus grande partie des Bni Snassène et des Kibdana (chap. 5) :

— Des sols non calcaires, ou à profil calcaire différencié avec un horizon Aca non calcaire : ce sont des sols fersiallitiques, rouges ou bruns, sur calcaires ou dolomies compacts, flyschs ou grès.

— Des sols à profil calcaire différencié, calcaires dès la surface : ce sont des sols calcomagnésimorphes.

1. *Dans les sols fersiallitiques*, l'évolution des minéraux argileux, hérités des roches, varie en fonction des zones climatiques (chap. 5, § I, II et III) :

a *Dans les zones subhumides d'altitude*, la chlorite et l'illite, qui sont les principaux minéraux argileux, se transforment en vermiculite par l'intermédiaire d'interstratifiés illite-vermiculite et chlorite-vermiculite. Il s'agit là d'une dégradation, d'une hydrolyse ménagée avec lessivage des ions interfoliaires K, Mg et Fe. Le silicium lui-même peut commencer à être exporté.

b *Dans les zones semi-arides et arides*, situées à moindre altitude, la transformation ne se fait plus vers la vermiculite, mais vers des édifices gonflants à tendance montmorillonitique. Ceci serait le résultat d'un milieu moins lessivant que le précédent, car plus aride : les alcalins et alcalino-terreux sont toujours lessivés mais le silicium l'est moins et provoque des aggradations (TARDY, 1969). Les transformations des minéraux se font donc dans ces sols, à la fois par dégradation et par aggradation.

2. *Dans les sols calcomagnésimorphes*, l'altération des minéraux argileux, hérités des roches, est moins accentuée que dans les sols fersiallitiques, et ceci d'autant moins que le milieu est plus aride (chap. 5, § IV).

## B. L'évolution des minéraux argileux dans les dépôts quaternaires et dans les sols des plaines de la Basse Moulouya.

Dans les plaines de la Basse Moulouya, bassins de réception des matériaux et des solutions provenant des régions montagneuses, le drainage est ralenti et l'aridité est croissante d'est en ouest. Les minéraux argileux des dépôts quaternaires et des sols y résultent alors du travail de trois mécanismes :

- la mise en place des matériaux ;
- l'agradation des minéraux argileux ;
- la néoformation et la destruction de l'attapulгите.

### 1. La mise en place des matériaux.

Sachant que les dépôts quaternaires des plaines proviennent surtout de l'érosion des sols des massifs montagneux (chap. 7, § I-A), on peut penser qu'ils en ont hérité les minéraux argileux. Ces minéraux hérités sont dans l'ensemble beaucoup moins dégradés à l'ouest, dans le Zebra qu'à l'est dans la cuvette des Triffa, puisque dans les montagnes les sols calcomagnésimorphes sont plus abondants et le climat plus aride à l'ouest qu'à l'est.

### 2. L'agradation des minéraux.

Les solutions qui migrent obliquement en se concentrant (aridité croissante), responsables déjà de l'enrichissement en calcaire et en sels (§ IV et V du présent chapitre), apportent également les ions nécessaires à l'agradation des minéraux hérités : il y a ainsi disparition de la vermiculite, que l'on ne retrouve jamais dans les plaines, cicatrization des interstratifiés et fermeture des illites. Cette agradation est d'autant plus accentuée et affecte des horizons d'autant plus superficiels, que le milieu est plus aride et que les horizons sont plus calcaires, plus salés et plus alcalisés : les interstratifiés deviennent rares puis disparaissent, le « bâillement » des illites diminue, la cristallisation de la chlorite s'améliore (chap. 3, § IV, tabl. XI, XII et XIII).

### 3. La néoformation et la destruction de l'attapulгите.

Dans les dépôts quaternaires et les sols des plaines de la Basse Moulouya, l'attapulгите est un minéral argileux courant (chap. 3, § IV, tabl. XI, XII et XIII, fig. 23, 24 et 25 ; chap. 4, § I-H, II-B, II-C-3) :

- Sa présence est générale dans les épais dépôts du Villafranchien.
- Elle est fréquente dans les formations plus récentes, mais, en moyenne, son importance diminue avec l'âge de ces formations.
- Elle apparaît dans les sols à des profondeurs d'autant plus faibles que le milieu est plus aride, moins drainé et les horizons plus calcaires.
- Elle est abondante dans les horizons Bca bien différenciés, d'autant plus que cet horizon est mieux développé, plus calcaire, plus épais ; dans les encroûtements dont le sommet est feuilleté, elle peut constituer près de 100% de la fraction minérale argileuse.

Ce minéral argileux étant totalement absent des roches et des sols des zones montagneuses, il ne peut pas avoir été hérité : on doit donc admettre qu'il s'est néoformé dans les plaines.

a. Cette néoformation a commencé, et a été très importante, au Villafranchien ; elle s'est faite :

- en profondeur, au sein des formations alimentées par les solutions qui les ont enrichies en calcaire et en sels ;
- dans les sols, au niveau des encroûtements.

b. Les dépôts quaternaires proviennent partiellement du remaniement des formations villafranchiennes ; l'attapulгите que l'on y trouve est donc probablement en partie héritée.

c. Au cours de la pédogenèse, la tendance, dans les horizons de surface, est à l'hydrolyse de l'attapulгите dont on connaît l'instabilité dans les sols (MILLOT, 1964). Elle est ainsi éliminée d'autant plus rapidement et plus profondément que le milieu est plus humide et les matériaux moins calcaires. Dans l'est des Triffa, cette élimination est profonde et il en résulte, en particulier, que les dépôts récents qui proviennent des remaniements des horizons de surface des sols voisins n'en contiennent pas. Dans le Zebra aride et calcaire, l'attapulгите reste, au contraire, souvent présente dès la surface, même dans les dépôts rharbiens, ce qui confirme à quel point les sols y sont peu lessivés : le calcaire et les sels qui s'y accumulent ne peuvent vraiment y avoir qu'une origine latérale.

d. Dans les horizons profonds, la tendance est, au contraire, à la conservation de l'attapulгите, et ceci à des profondeurs d'autant plus faibles que le milieu est plus aride et plus calcaire. Dans les horizons Bca encroûtés, il y a même néoformation nette de l'attapulгите.

— Cette néoformation reste discrète dans les régions semi-arides de l'est des Triffa ; elle ne se fait plus dès que l'on monte dans les Bni Snassène : le climat devient trop humide et le lessivage vertical trop accentué.

— En allant vers l'ouest, cette néoformation devient rapidement importante : dès le centre de la cuvette des Triffa, des proportions de 100% de la fraction minérale argileuse sont atteintes dans les encroûtements.

— Ces proportions peuvent exister sur toute l'épaisseur des encroûtements massifs et nodulaires et des croûtes qui ne sont pas trop durcies. Par contre, les croûtes dures, les dalles compactes et les pellicules rubanées en contiennent toujours nettement moins : ces horizons ont connu des variations d'humidité importantes qui ont dû être défavorables à la conservation de l'attapulгите formée précédemment. Sous l'encroûtement les teneurs en attapulгите diminuent aussi rapidement.

### C. Conclusions

L'interprétation de l'évolution des minéraux argileux, confirme donc l'existence, en Basse Moulouya, de deux milieux génétiquement liés par des migrations latérales de matériaux et de solutions :

1. *Un milieu amont lessivé* : c'est celui des zones montagneuses, mais aussi celui de toutes les collines disséminées dans les plaines. Les sels solubles et les carbonates y sont lessivés en grandes quantités ; les minéraux argileux, hérités des roches, y sont surtout dégradés, perdant des ions ; les produits de l'altération et de la pédogenèse en sont arrachés par l'érosion. L'importance du lessivage diminue quand l'aridité augmente : les horizons Bca se rapprochent de la surface, les horizons Aca s'appauvrissent moins en calcaire, les minéraux argileux s'altèrent moins et certains d'entre eux évoluent en direction de la montmorillonite par incorporation de silicium.

2. *Un milieu aval confiné* : il reçoit et retient partiellement tout ce qui part de l'amont. Dans les matériaux qui s'empilent, les solutions sont piégées et concentrées : les sels et le calcaire s'accumulent, le potassium et le magnésium agrandent les minéraux argileux, le silicium, le magnésium et l'aluminium engendrent l'attapulгите. Tout ceci se réalise d'autant mieux et plus superficiellement que le drainage est plus ralenti et l'aridité plus élevée. Au niveau des sols, le confinement est d'ailleurs surtout le résultat de l'aridité et non pas tant de l'engorgement : c'est ce que peut signifier l'absence



de la montmorillonite qui est au contraire très développée dans les plaines plus humides, plus hydromorphes, telles celles des Bni Moussa et du Saïs au Maroc (SCHOEN, 1968) de la Bekaa sud au Liban (PAQUET, LAMOUROUX, MILLOT, 1969 ; PAQUET, 1969).

## VII. L'ÉVOLUTION DU FER ET LA RUBÉFACTION

Les mécanismes qui sont responsables, dans les sols des régions méditerranéennes, de la répartition du fer, de son état (souvent mal précisé) et de l'importance de la rubéfaction, sont encore mal connus et, de ce fait, très discutés. Etant donné la modestie des moyens de laboratoire dont j'ai pu disposer, ma contribution dans ce domaine est limitée : je me contenterai ci-dessous, d'énumérer brièvement les mécanismes qui, dans les divers milieux où se développent les sols à profil calcaire différencié, me paraissent les plus importants.

1. *La « libération » du fer* : c'est la formation de fer libre. Elle se fait d'autant mieux que le climat est plus humide et que la roche-mère est moins calcaire ou se décalcarise plus facilement (chap. 6, § IV-D). Dans les sols des plaines de la Basse Moulouya, l'étude des rapports fer libre sur fer total montre que ce mécanisme ne joue pas dans les sols calcaires dès la surface et ne fonctionne que faiblement dans les horizons At et surtout Bt des sols à horizon Aca non calcaire (chap. 3, § II).

2. *La rubéfaction* accompagne, dans certains cas, la libération du fer. Elle ne se développe bien et rapidement qu'en milieu peu ou non calcaire, suffisamment humide, mais bien drainé : des assèchements périodiques et prononcés sont nécessaires (chap. 6, § IV-A-1). Dans les sols des plaines de la Basse Moulouya, une légère rubéfaction se développe souvent au niveau des horizons Bt, les rendant plus rouges que les horizons C (chap. 2, § III-5) : le phénomène est lent (chap. 4, § II-B) et semble être une conséquence de l'enrichissement en argile.

3. *L'héritage* : une partie du fer libre et de la couleur rouge est héritée des roches-mères. Il y a des roches rouges et des roches dans lesquelles les proportions de fer libre sont élevées ; elles influencent directement les sols qui s'y développent et les matériaux quaternaires qui en proviennent par érosion. Cependant, en ce qui concerne ces derniers, le rôle premier revient aux sols : les teneurs en fer libre et la rubéfaction des matériaux quaternaires et des sols qui s'y différencient, dépendent principalement de l'état de ces mêmes caractères, dans les sols dont ils proviennent par érosion ; en Basse Moulouya cette relation est particulièrement nette (chap. 4, § II-A-1 ; fig. 27 ; chap. 7, § I-A). Néanmoins, lors de la mise en place rapide des matériaux, il semble qu'il puisse y avoir, assez souvent, une légère diminution de la proportion en fer libre : c'est probablement le cas de la plaine des Triffa où les rapports fer libre sur fer total, dans les horizons Aca rouges, argileux et non calcaires, sont plus faibles que dans les mêmes sols situés dans les Bni Snassène. Il peut y avoir aussi dérubaréfaction. Ces phénomènes de dérubaréfaction et de perte de fer libre, dépendent probablement, en partie, des conditions dans lesquelles se sont réalisés l'érosion, le transport et la mise en place des matériaux, en particulier du tri granulométrique qui peut en résulter (perte d'éléments fins, par exemple, qui sont souvent les plus rouges et les plus riches en fer libre).

Après la mise en place rapide des matériaux, les phénomènes de « libération » du fer et de rubéfaction en profondeur dans les alluvions-colluvions et au niveau des sols, sont absents ou de faible importance (§ 1 et 2 ci-dessus), sauf si ces matériaux sont faiblement ou non calcaires ou s'ils sont très perméables.

4. *La migration et la concentration du fer* : dans les sols, le fer libre migre de deux façons :

— Il peut migrer avec l'argile, à laquelle il est souvent étroitement lié ; cette migration, rapelons-le, est essentiellement latérale, surtout dans les sols sursaturés en calcium dès la surface.

— Il peut migrer seul et se concentrer en nodules, concrétions ou carapaces. Dans les horizons calcaires, cette migration est pratiquement nulle, sauf s'ils sont soumis fréquemment à des engorgements hydriques importants. Dans les horizons non calcaires mais sursaturés en calcium, cette migration est faible mais non négligeable : la présence d'agrégats à ciment ferrugineux, de « ferri-argilans », de petits nodules ferrugineux, de pseudo-gleys en témoigne (chap. 3, § II et chap. 6, § IV-D). Enfin, la migration et la concentration du fer prennent beaucoup d'importance dans les sols qui ne sont pas sursaturés en calcium et dans lesquels un horizon  $A_2$  prend alors naissance : ces phénomènes, favorisés par les engorgements périodiques, caractéristiques de ces sols, se développent à des vitesses comparables à celles de l'accumulation et de la concentration du calcaire (chap. 6, § IV-D).

5. *La dérubéfaction* : de nombreux mécanismes peuvent modifier la couleur rouge des sols, qu'elle soit héritée ou non. Les principaux semblent être les suivants :

— L'assombrissement et la brunification des horizons A par la matière organique.

— L'éclaircissement des horizons B par le calcaire qui s'accumule.

— La brunification des horizons A par appauvrissement en argile qui entraîne avec elle le fer libre qui lui est lié (§ 4, ci-dessus). C'est l'érosion de ces horizons qui, depuis que l'homme détruit le couvert végétal, est peut-être à l'origine des formations moins rouges du Rharbien (chap. 6, § I-A-3).

— La brunification et le jaunissement des horizons B et C par hydratation (LAMOUROUX, 1968 a).

— Le développement des pseudo-gleys et des gleys.

## VIII. CONCLUSIONS

### A. Les mécanismes de la différenciation des sols.

Les mécanismes qui concourent à la différenciation des divers caractères des sols à profil calcaire différencié, s'apparentent aux grandes catégories de processus pédogénétiques que l'on connaît déjà dans la plupart des sols du monde.

Ce sont essentiellement :

1. *Des mécanismes de mise en place rapide des matériaux* : il y a édification rapide de formations alluviales et colluviales. Les matériaux accumulés proviennent surtout de l'érosion des sols situés plus en amont : ils en héritent de nombreux caractères.

2. *Des mécanismes d'altération* : les roches en place et les matériaux transportés sont soumis à la désagrégation et à l'hydrolyse. Il y a, en particulier :

— Désagrégation des roches.

— Dissolution des sels solubles.

— Dissolution des carbonates.

— Accroissement des quantités de minéraux argileux : ils sont hérités des roches-mères sédimentaires ou résultent de l'hydrolyse de certains minéraux.

— Dégradation des minéraux argileux : en milieu subhumide elle va jusqu'à la formation de vermiculite ; en milieu semi-aride, il y a seulement ouverture des illites et formation d'édifices gonflants à tendance montmorillonitique ; en milieu aride, elle est très faible : l'attapulgitite même n'est pas détruite dans les sols. Cette dégradation libère des ions : il s'agit surtout de K, Mg, Fe et Si.

— « Libération » du fer, qui s'accroît quand le milieu se décalcarise. Cette libération s'accompagne d'une rubéfaction.

3. *Des mécanismes liés au développement de la vie au sein des matériaux* : il y a, en particulier, enrichissement en matière organique qui se répartit profondément, mais non d'une façon isohumique. Les horizons A s'assombrissent.

4. *Des mécanismes de migration* : les éléments solubles ou très fins, résultant de l'altération, migrent verticalement et, surtout, latéralement (sur, dans et sous les sols).

a *En solution*, il y a migration de sels solubles avec Na et K, de bicarbonates avec Ca et Mg, de silice. Dans les horizons C, ces sels sont entraînés d'autant plus profondément et plus loin que le milieu est plus humide ou plus perméable. Au niveau des sols, les migrations sont d'autant moins profondes, plus lentes, mais plus lointaines, par étapes successives, que les climats sont plus arides ou les matériaux moins perméables. Dans les matériaux fréquemment engorgés, et surtout dans ceux qui sont déficitaires en calcium, la migration du fer se développe.

b *Les particules fines* migrent sous forme dispersée ou en suspension. Ces migrations se font surtout dans les horizons A et d'autant mieux que les matériaux sont moins calcaires.

De ces migrations résultent au niveau des sols :

- l'élimination plus ou moins profonde des sels solubles ;
- la différenciation d'un horizon Aca ;
- la différenciation d'un horizon At, dont l'appauvrissement en argile s'accompagne d'une dérubaréfaction.

5. *Des mécanismes d'accumulation* : les éléments qui ont migré, viennent s'accumuler dans les zones aval :

a *Les roches altérées et les matériaux transportés* sont enrichis en sels, en calcaire qui s'y concentre souvent d'une façon discontinue (amas friables, nodules), en ions qui agrandent les minéraux argileux et néoformement certaines argiles : la montmorillonite dans les milieux engorgés, l'attapulgitite dans les régions arides.

b *Dans les sols* :

- *Les sels solubles et le sodium* s'accumulent dans les milieux arides et mal drainés.
- *Le calcaire* s'accumule et se concentre autour de la partie moyenne et inférieure du système racinaire, puissant, des forêts et des matorrals des régions méditerranéennes : l'horizon Bca prend ainsi naissance. L'accumulation est d'abord à distribution diffuse ; puis apparaissent successivement des pseudo-mycéliums, des amas friables, des nodules, enfin des encroûtements qui durcissent, se feuilletent en croûte et se pétrifient en dalle compacte. A tout moment une pellicule rubanée, de quelques millimètres d'épaisseur, peut se développer rapidement, par ruissellement sub-superficiel, sur les surfaces dures et imperméables. Tout ceci se fait d'autant mieux, d'autant plus vite que l'apport calcaire est plus important, la végétation mieux développée, le régime hydrique plus contrasté (eaux abondantes, circulation rapide, assèchements fréquents). La profondeur de l'accumulation est celle à laquelle la concentration des solutions, qui s'effectue par évapotranspiration, n'est plus compensée par la production de CO<sub>2</sub> d'origine biologique : cette profondeur est d'autant moins grande que le milieu est plus aride ou moins perméable. Par ailleurs, au fur et à mesure de son développement, l'accumulation du calcaire est de plus en plus superficielle : le sommet de l'horizon Bca remonte

et devient progressivement le niveau le plus riche en calcaire. La précipitation des carbonates est aussi favorisée par les milieux poreux où l'évasion du  $\text{CO}_2$  est possible.

— *La précipitation du carbonate de magnésium*, en petites quantités, suit souvent celle du carbonate de calcium. Par ailleurs, la précipitation du  $\text{CO}_3\text{Ca}$  se faisant avant celle du  $\text{CO}_3\text{Mg}$ , il en résulte, dans les solutions du sol, une augmentation du rapport  $\text{Mg}/\text{Ca}$ , qui se répercute sur les complexes adsorbants (LEPOUTRE et SAUVAGEOT, 1969) : il y a alcalisation magnésienne des sols.

— *Les ions*, K et Mg surtout, agrandent les minéraux argileux, d'autant mieux et d'autant moins profondément que le milieu est plus aride ou moins bien drainé : les interstratifiés disparaissent, les illites se ferment. Dans les zones où le confinement s'accroît, des néoformations de minéraux argileux se font ; ainsi naît la montmorillonite dans les zones mal drainées (PAQUET, 1969) ou l'attapulgite dans les encroûtements des régions arides.

— *Le fer*, s'il a migré seul, sans l'argile, s'accumule d'autant plus loin que le milieu est plus déficitaire en calcium et les engorgements temporaires plus fréquents. En fait, ces phénomènes ne prennent une extension comparable à celle du calcaire, que dans les matériaux perméables, pauvres ou appauvris en calcium, et seulement dans les régions semi-arides et subhumides. Dans les autres sols, les migrations, quand elles existent, sont très localisées, donnant naissance à quelques revêtements riches en fer (ferri-argilans) et, dans les sols non calcaires et fréquemment engorgés, à des nodules et concrétions.

— *Les éléments fins*, qui ont migré sous forme dispersée ou en suspension, s'accumulent peu dans les sols : l'argile de l'horizon Bt résulte en grande majorité de l'altération *in situ* et, dans certains cas, de néoformations.

6. *Des mécanismes de remaniements* : tout au cours du développement des sols, des remaniements lents viennent perturber la différenciation des divers caractères et horizons. Il y a :

— En surface, érosion et accumulation par l'eau (en nappe ou linéairement) ou par le vent (zones très arides).

— En profondeur, mouvements particuliers ou mouvements de masse, du fait de la gravité, des variations d'humidité et de l'activité biologique animale et végétale.

Ces remaniements :

— brassent les horizons ;

— provoquent une lente migration de la couverture pédologique vers l'aval, migration plus rapide dans les horizons superficiels que dans les horizons profonds ;

— épaississent ou amincissent, selon les situations topographiques, les horizons At ou Aca ;

— amènent de l'amont vers l'aval des éléments grossiers allochtones ;

— sont à l'origine de tous les cailloutis lenticulaires et peu épais (quelques centimètres) et des limites nettes ondulées, « ravinantes », qui séparent localement les horizons pédologiques ;

— permettent le développement des horizons Bca double et triple.

Quand ces remaniements s'accroissent, ne laissant plus aux autres mécanismes le temps d'effacer les résultats de l'érosion ou d'incorporer les matériaux qui s'accumulent en surface, les sols sont détruits ou enterrés : c'est une nouvelle phase de décapage et de mise en place rapide des matériaux qui se fait et qui met à la disposition de la pédogenèse de nouvelles roches, de nouvelles formations alluviales et colluviales, de nouvelles surfaces.

7. *Des mécanismes résultant de l'intervention de l'homme* : en détruisant les forêts, en faisant pâturer ses troupeaux, en labourant, l'homme modifie les mécanismes pédogénétiques et les sols :

— Les taux de matières organiques diminuent rapidement, surtout dans les horizons de surface : la répartition verticale de cette matière organique devient isohumique.

— Les horizons At s'éclaircissent et leur structure se détériore, s'affaiblit, s'élargit ; en surface, la pellicule lamellaire de glaçage se développe.

— L'appauvrissement en argile des horizons At s'accroît, mais les teneurs en calcaire augmentent souvent légèrement.

— L'érosion des horizons de surface s'accélère, les matériaux érodés allant construire les formations alluviales et colluviales récentes et actuelles, classiquement attribuées au Rharbien.

— Les régimes hydriques sont profondément modifiés. En particulier, du fait de la forte diminution du couvert végétal, moins d'eau pénètre dans les sols, par la surface ou par remontée capillaire et moins d'eau est évapotranspirée. Le volume et la vitesse des solutions qui circulent, les quantités de matières qu'elles transportent, l'importance et la fréquence des variations d'humidité, tout ceci diminue donc nettement, surtout dans les horizons B et C : on peut alors penser, qu'en conséquence, l'évolution des sols est ralentie.

\* \* \*

De l'étude des mécanismes qui concourent à la formation des sols à profil calcaire différencié de la Basse Moulouya et du Maroc, trois enseignements majeurs sont à retenir :

— Le premier concerne *l'importance des migrations latérales* qui se font sur, dans et sous les sols, avant, pendant et après leur différenciation. Ces migrations ont deux conséquences fondamentales :

Au sein d'un bassin versant, elles établissent, de l'amont vers l'aval, des relations étroites entre les matériaux, les mécanismes et les sols. Hormis les sommets, les roches altérées, les formations quaternaires et les sols ont, en chaque point, un amont dont ils dépendent et un aval qu'ils influencent.

Elles bouleversent la notion de roche-mère qu'il faut rechercher beaucoup plus à l'amont qu'à la base des sols.

— Le deuxième enseignement porte sur le *rôle fondamental du calcium* dans la formation de ces sols. En effet :

Le calcaire est l'élément principal de la différenciation : le développement de l'horizon Bca reflète le degré d'évolution des sols et la plupart des mécanismes se modifient en fonction de la richesse en calcaire des horizons Aca et Bca.

L'organisation et l'évolution des sols à horizon Aca non calcaire sont fondamentalement différentes selon que le milieu est sursaturé ou sous-saturé en calcium. Dans le deuxième cas, il y a formation d'un horizon A<sub>2</sub> dont le développement modifie profondément la plupart des mécanismes.

— Le troisième enseignement est le suivant : les sols à profil calcaire différencié de la Basse Moulouya et du Maroc doivent l'essentiel de leur originalité au *régime hydrique imposé par le climat méditerranéen*. Ce régime hydrique est surtout caractérisé par des variations d'humidité importantes, rapides et fréquentes et par un drainage limité vers la profondeur. La plupart des mécanismes et des caractères varient en fonction des modalités de ce régime hydrique.

## B. Les facteurs de la différenciation des sols.

Les éléments du milieu en fonction desquels la différenciation des sols se modifie sont surtout ceux dont dépendent la richesse en calcium et le régime hydrique et ceux qui déterminent l'importance et les modalités des migrations latérales.

1. *La pétrographie des roches* constitue le facteur le plus important. Partout au Maroc, la répartition des sols dépend étroitement des roches dans lesquelles et à l'aval desquelles ils se situent.

2. *Le relief* détermine la nature et la position des zones amont par rapport aux zones aval et règle la circulation des eaux. Aux reliefs et microreliefs tourmentés d'un pays comme le Maroc correspondent des variations très rapides de tous les caractères pédologiques.

3. *Le climat* : la répartition des sols en fonction des climats actuels est perturbée par la diversité des roches et des reliefs, par les transports latéraux de matériaux pédologiques et par l'action de l'homme. Les faits et les interprétations démontrent cependant que les sols à profil calcaire diffé-

rencié du Maroc reflètent, par tous leurs caractères, les modalités particulières des régimes hydriques et des rythmes biologiques qui sont imposés par les climats méditerranéens. Ils démontrent aussi qu'à l'échelle du pays tous les caractères pédologiques varient en fonction des climats, chaque sol étant influencé à la fois par le climat du lieu où il se trouve et par les climats des zones amont.

4. *La végétation* se modifie principalement en fonction des climats et de l'action de l'homme. C'est d'elle que dépendent tous les aspects du profil organique, la différenciation du profil calcaire (par la production du  $\text{CO}_2$  et l'évapotranspiration), l'importance des remaniements. Elle est aidée dans son travail par la *faune* du sol.

5. *Les sols* et les caractères pédologiques sont aussi des facteurs de la pédogenèse. Ils le sont à double titre :

- par l'influence de l'amont sur l'aval ;
- par le rôle que joue tout caractère pédologique qui se différencie, sur l'orientation des mécanismes et, en particulier, sur le déclenchement de nouveaux mécanismes ; j'ai montré, à plusieurs reprises, à quel point ce phénomène est fréquent au cours de la formation des sols à profil calcaire différencié.

6. *L'homme* : l'importance de ce facteur récent de la pédogenèse a été soulignée ci-dessus (§ A-7).

#### C. Actualité des mécanismes. Rôle du temps et des variations climatiques du passé quaternaire.

Partout où l'homme n'est pas intervenu d'une façon trop accentuée sur le couvert végétal, et surtout là où un minimum de couverture forestière a pu se maintenir, la plupart des mécanismes rappelés ci-dessus, sont actuellement au travail. Les observations simples que l'on peut faire sur les enracinements, l'activité de la faune, les teneurs en matières organiques, les variations d'humidité, les mouvements de matériaux, la charge des cours d'eau et des nappes phréatiques, l'altération des roches, les variations de la fissuration dans les sols, tout ceci suffit pour convaincre que les sols sont bien actuellement en pleine évolution.

L'observation des sols sur les surfaces quaternaires emboîtées, d'âges différents, nous apprend cependant que la vitesse des mécanismes, ou plutôt la vitesse à laquelle les caractères pédologiques se développent, est très variable :

- Il y a des mécanismes rapides ; des caractères acquis rapidement et qui, témoignant d'un équilibre atteint, ne se modifient plus tant que les conditions du milieu ne changent pas. Tel est, par exemple, le cas du profil organique, de la structure et de la couleur de l'horizon At, de la teneur en calcaire de l'horizon Aca.

- Il y a, au contraire, des mécanismes lents, des caractères qui s'accroissent très lentement en fonction du temps. Tel est, en particulier, le cas de l'horizon Bca qui n'est vraiment visible dans les sols qu'après quelques centaines ou milliers d'années d'évolution et dont les faciès les plus puissants ont nécessité toute la durée du Quaternaire pour se former.

Les sols sont donc plus ou moins vieux, souvent très vieux, et dans chaque sol il y a des caractères vieux et des caractères jeunes. Mais ces sols vieux sont bien vivants : les sols enterrés mis à part (ils sont rares), ce ne sont pas des sols fossiles, des paléosols, témoins de milieux nettement différents des milieux actuels ; ils témoignent au contraire d'une certaine stabilité des principaux facteurs de la pédogenèse, tout au cours du Quaternaire post-villafranchien.

Ceci ne veut pas dire pour autant qu'il n'y a eu, au cours du Quaternaire, aucune variation de ces facteurs et, en particulier aucune variation climatique :

- Les recherches poursuivies par les spécialistes du Quaternaire ont montré, à plusieurs reprises, que ces variations climatiques ont certainement eu lieu : géologues, paléontologistes, géomorphologues, palynologues, préhistoriens sont tous d'accord sur ce point.

— Au Maroc, l'étude des sols confirme l'existence de ces variations :

La présence de sols à profils calcaires moyennement et très différenciés, dans les régions pré-sahariennes, et de sols rouges à Aca non calcaire, sur calcaires compacts, dans les régions arides, indiquent que ces contrées ont connu des climats plus humides.

Les sols des régions humides du Nord démontrent par certains de leurs caractères qu'ils ont connu des climats plus tempérés.

La mise en place rapide des matériaux alluviaux et colluviaux témoigne, selon les régions, de périodes plus arides, ou plus humides, ou plus froides.

— L'étude des sols tend cependant à démontrer que ces variations climatiques ont toujours été de faible amplitude, ou de courte durée. Dans toutes les régions actuellement arides, semi-arides et subhumides, ces variations ont pu, selon les cas, ralentir ou accélérer le déroulement des mécanismes, accentuer ou atténuer le développement de certains caractères sensibles à toute modification du couvert végétal et du régime hydrique (teneurs en matière organique, assombrissement et structuration des horizons de surface, profondeurs des accumulations de sels et de carbonates). Mais le sens général de l'évolution des sols n'a jamais été profondément modifié : il n'y a pas trace, ni dans les sols, ni dans les dépôts quaternaires qui les remanient, de caractères pédologiques pouvant témoigner de climats nettement différents.

#### D. Le rôle des mécanismes pédologiques et des sols dans l'évolution du milieu au cours du Quaternaire.

Au cours du Quaternaire, les mécanismes pédologiques et les sols ont influencé l'évolution du milieu dans trois domaines :

- les formations quaternaires continentales ;
- le relief ;
- la végétation.

1. *L'élaboration des formations quaternaires continentales*, accumulées dans les vallées et dans les plaines, a été à tout moment largement influencée par la pédogenèse et les sols. En effet :

- les matériaux proviennent en grande partie de l'érosion des sols.
- après leur mise en place, ces matériaux ont évolué en fonction des solutions chargées qu'ils ont reçues des zones de pédogenèse situées en amont.
- à leur sommet ils ont été transformés par les mécanismes pédologiques, parmi lesquels figurent les remaniements. Ces mécanismes ont différencié des horizons dont les limites ont souvent l'apparence de limites stratigraphiques.

2. *L'élaboration des reliefs* dépend étroitement des mécanismes pédologiques. En effet, ces mécanismes :

- préparent le matériel qui pourra être remanié, érodé ;
- orientent les phénomènes d'érosion, de remaniement, d'accumulation ;
- créent dans les sols des horizons résistant à l'érosion et aux remaniements : les croûtes et les dalles.

L'évolution des sols et l'évolution du relief sont donc en permanence étroitement liées ; elles s'influencent mutuellement à tout instant.

3. *La végétation* a pu, au cours du Quaternaire, être modifiée à plusieurs reprises, sous l'influence de la formation des sols, en particulier en fonction du développement des horizons Bca, des phénomènes de salure et d'alcalisation, de la différenciation des horizons A<sub>2</sub>.

### E. Les critères d'une classification morphogénétique des sols à profil calcaire différencié.

Les faits présentés dans les première et deuxième parties de ce travail et les interprétations pédogénétiques exposées dans la troisième partie me conduisent à proposer les grandes lignes suivantes pour la classification morphogénétique des sols à profil calcaire différencié.

1. *Au niveau le plus élevé*, tous les sols à profils texturaux non, peu et moyennement différenciés (absence d'un horizon  $A_2$  nettement séparé d'un horizon Bt) doivent être regroupés, sauf s'ils ont des caractères morphologiques permettant de les classer parmi les vertisols, les andosols, les sols halomorphes et les sols hydromorphes (des critères précis doivent être choisis pour distinguer ces sols : on devra s'inspirer pour cela de la classification américaine). Tous ces sols sans horizon  $A_2$  sont caractéristiques d'un milieu assurant une sursaturation en calcium dès la surface : ce sont des *sols calcimorphes*. Ce grand groupe rassemblera des sols actuellement classés parmi les peu évolués, les calcomagnésimorphes, les isohumiques et les fersiallitiques.

2. *Au deuxième niveau*, on doit d'abord distinguer, parmi ces sols calcimorphes, les *sols non calcaires* des *sols calcaires*. Puis, parmi ces derniers, des distinctions sont à faire en fonction de la *différenciation de l'horizon Bca* qui marque le degré d'évolution des sols : on aura ainsi des sols à profil calcaire non différencié (pas d'horizon Bca), peu différencié (horizon Bca à distribution diffuse), moyennement différencié (horizon Bca à amas friables ou nodules), très différencié (horizon Bca encroûté).

3. *Au troisième niveau* les sols sont à classer en fonction de la teneur en calcaire de l'horizon Aca, de la différenciation du profil textural argileux, de la rubéfaction, de l'état du fer.

4. Enfin, *au quatrième niveau*, on peut utiliser pour classer ces sols des caractères instables qui se modifient rapidement dès que les facteurs du milieu varient légèrement et, en particulier, dès que l'homme intervient : ce sont la couleur et la structure de l'horizon At, le profil organique, la salure et l'alcalisation.



---

## **CONCLUSIONS GÉNÉRALES**

---

## Conclusions générales

Ce travail présente les résultats des études pédologiques détaillées qui ont été réalisées dans les régions arides, semi-arides et subhumides de la Basse Moulouya. Il est complété par un bref tour d'horizon des paysages pédologiques marocains, vus sous un angle nouveau.

Les principales conclusions de ce travail sont les suivantes :

A. — Il y a, au Maroc, un grand groupe de *sols calcimorphes*, caractéristiques des milieux assurant une sursaturation en calcium dès la surface. Ce groupe comprend des sols qui sont actuellement classés, d'après AUBERT (1965 a et b), parmi les sols peu évolués, les sols calcomagnésimorphes, les sols isohumiques subtropicaux et les sols fersiallitiques rouges et bruns méditerranéens. D'après la classification américaine (U.S.D.A., 1967) ce sont, selon les cas, des inceptisols (xerochrepts), des aridisols (argids et orthids), des mollisols (rendolls et xerolls) ou des alfisols (xeralfs). Sont exclus de ce grand groupe, les sols calcimorphes qui sont aussi nettement marqués par des caractères vertiques, andiques, halomorphes et hydromorphes.

B. — Parmi ces sols calcimorphes, beaucoup d'entre eux contiennent du calcaire, dans un ou plusieurs de leurs horizons : ce sont les *sols à profil calcaire différencié*. Ces sols sont caractérisés par la présence de trois horizons principaux :

1. Dans la partie moyenne du sol un horizon Bca. C'est un horizon d'accumulation du calcaire qui peut être :

- *peu différencié* : la distribution du calcaire est diffuse ;
- *moyennement différencié* : le calcaire est concentré d'une façon discontinue, en amas friables ou en nodules ;
- *très différencié* : le calcaire est concentré d'une façon continue ; l'horizon Bca est alors un *encroûtement* qui peut être non feuilleté (massif ou nodulaire), feuilleté (croûte), pétrifié (dalle compacte) ou lamellaire (pellicule rubanée).

2. Au-dessus, un horizon Aca, moins calcaire, que Bca : il peut être non calcaire.

3. Au-dessous, un horizon C, moins calcaire que Bca : il peut également être, mais plus rarement, moins calcaire que Aca.

Verticalement et latéralement, ces trois horizons sont étroitement liés.

C. — La différenciation de ces sols résulte principalement de *migrations latérales* dont les modalités varient étroitement en fonction des *régimes hydriques* imposées par les divers *types de climats méditerranéens*. Ces migrations établissent, au sein d'un bassin versant, des relations étroites de l'amont vers l'aval, entre les matériaux, les mécanismes et les sols : hormis les sommets, les roches altérées, les formations quaternaires et les sols ont, en chaque point, un *amont dont ils dépendent* et un *aval qu'ils influencent*. L'existence de ces migrations latérales transforme la notion de *roche-mère*.

D. — Les principaux éléments qui migrent latéralement sont les suivants :

1. *Les matériaux* :

a Il y a eu, au cours du Quaternaire, plusieurs périodes au cours desquelles des *formations alluviales et colluviales* se sont construites rapidement. Les matériaux accumulés provenaient surtout de l'*érosion des sols* situés plus en amont : ils en ont hérité de nombreux caractères. La Basse Moulouya offre ainsi plusieurs exemples de sols rouges transportés.

b Pendant la différenciation des sols, des *remaniements* se poursuivent lentement, en surface par érosion, en profondeur sous la forme de mouvements particuliers ou de mouvements de masse. Ces remaniements, facilités par les variations d'humidité, sont des *mécanismes actifs de la formation des sols*. En particulier, ils ralentissent puis bloquent, apparemment, la différenciation des horizons Aca et At ; ils déplacent latéralement, vers l'aval, les horizons supérieurs par rapport aux horizons moyens et ceux-ci par rapport aux matériaux originels ou aux roches-mères ; ils créent, localement, entre les horizons pédologiques, de *fausses discontinuités lithologiques*, telles les petits cailloutis lenticulaires et les limites nettes qui furent souvent qualifiées de « ravinantes ». Ces remaniements sont également des *mécanismes du façonnement du relief* qui se poursuit pendant la différenciation des sols et en fonction des modalités de cette différenciation : pédogenèse et géomorphogenèse sont étroitement interdépendantes.

c L'utilisation de la végétation et des sols par l'homme a modifié les mécanismes et les conséquences des remaniements qui ont souvent été accélérés. Il en résulte la mise en place, qui se poursuit actuellement, des formations classiquement attribuées au Rharien.

2. *Les particules fines* migrent dans les horizons superficiels, sous forme dispersée ou en suspension. Ces migrations se font d'autant mieux que les matériaux sont moins calcaires.

— Ces migrations sont partiellement à l'origine de la différenciation, au sommet de l'horizon Aca, d'un horizon A *textural*, At, appauvri en éléments fins.

— Les éléments fins qui ont migré s'accumulent peu dans les sols : l'horizon Bt, qui se développe à la base de l'horizon Aca et au niveau de l'horizon Bca, résulte essentiellement de l'*altération in situ* et, dans certains cas, de la néoformation de minéraux argileux.

— Entre les horizons At et Bt, les *transitions sont toujours très progressives* : ceci est caractéristique de ces sols et permet de les distinguer nettement des sols qui se développent dans un milieu qui, pour des raisons pétrographiques ou climatiques, n'est plus sursaturé en calcium dès la surface : il y a alors développement, au sommet de l'horizon Bt, d'une limite tranchée le séparant d'un horizon At qui prend l'aspect d'un *horizon A<sub>2</sub>* : on sort du groupe des sols calcimorphes pour entrer dans celui des *sols à profil textural très différencié*.

3. *Les ions migrent en solution, sur, dans et sous les sols.* Les distances et les profondeurs atteintes dépendent de l'importance relative que prennent les *mouvements verticaux par rapport aux mouvements obliques* :

— *dans les horizons C*, les éléments sont entraînés d'autant plus profondément et peuvent migrer d'autant plus loin que le milieu est plus humide ou plus perméable ;

— *au niveau des sols*, les migrations sont d'autant moins profondes, plus lentes, mais, par étapes successives, plus lointaines, que les climats sont plus arides, les matériaux moins perméables et les régimes hydriques plus contrastés.

En Basse Moulouya les conséquences de ces migrations d'ions sont nombreuses :

a *En profondeur, dans les horizons C* (roches altérées ou matériaux transportés), le *calcaire s'accumule et se concentre d'une façon discontinue*. Dans les zones aval, *les sels solubles s'y accumulent* aussi et les *ions agrandent les minéraux argileux* ; dans les milieux très confinés, il y a même néoformation de minéraux argileux : en Basse Moulouya le confinement résulte de l'aridité et conduit à la *néoformation d'attapulgit* ; dans le Tadla il résulte surtout de l'hydromorphie et c'est alors la *montmorillonite* qui se développe. Tous ces phénomènes contribuent à l'*élaboration des faciès* dans les formations alluviales et colluviales du Quaternaire (toutes les données et interprétations concernant les minéraux argileux résultent de notre collaboration avec G. MILLOT, H. PAQUET, U. SCHOEN et Y. TARDY).

b *Dans les sols*, deux types d'horizons se différencient : des *horizons appauvris* et des *horizons d'accumulation*.

— En un lieu donné, la *profondeur de la limite*, en général très diffuse, qui sépare ces deux horizons n'est pas la même pour tous les ions. Elle dépend de la solubilité des sels. Mais pour tous les ions, cette limite est d'autant plus superficielle que le milieu est plus aride, moins perméable, à régime hydrique plus contrasté, et que l'amont est plus important.

— *Les carbonates*, très abondants et peu solubles, ne sont éliminés profondément que dans les régions subhumides et uniquement dans les poches karstiques ou sur les roches perméables (grès calcaires). Partout ailleurs, le *calcaire s'accumule et se concentre* autour de la partie moyenne et inférieure du *système radiculaire puissant des forêts et des matorrals* : l'horizon Bca prend naissance et se développe très lentement. L'accumulation (de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  accompagné d'un peu de  $\text{CO}_3\text{Mg}$ ) est d'abord à distribution diffuse ; puis apparaissent successivement des pseudo-myceliums, des amas friables, des nodules, enfin des encroûtements qui durcissent, se feuilletent en croûte et se pétrifient en dalle compacte. La pellicule rubanée se développe rapidement par ruissellement sub-superficiel ou superficiel sur des surfaces dures et imperméables. Tout ceci se fait d'autant mieux et plus vite que le *régime hydrique est plus contrasté* (eaux abondantes, circulation rapide, assèchements fréquents). La profondeur de l'accumulation est celle à laquelle la concentration des solutions, qui s'effectue par évapotranspiration, n'est plus compensée par la production de  $\text{CO}_2$  d'origine biologique. Au-dessus, la *décarbonatation de l'horizon Aca* n'accompagne pas la différenciation du Bca ; des mécanismes viennent en effet contrarier son appauvrissement et son épaissement : une teneur minimum et une épaisseur maximum, variables selon les climats, les roches et les reliefs, sont ainsi atteintes rapidement ; quand les encroûtements apparaissent, l'horizon Aca a même tendance à s'amincir et à se recariser : c'est une conséquence, d'abord du développement du sommet du Bca qui remonte dans l'Aca, puis des remaniements, en particulier d'une lente érosion qui oblige l'Aca à s'approfondir aux dépens du Bca.

— Dans les zones amont, subhumides et semi-arides, les *sels solubles* sont profondément lessivés. Les *minéraux argileux* sont dégradés, libérant des ions K, Mg, Fe et Si, qui migrent vers l'aval, et participant à la différenciation de l'horizon At. Dans les Bni Snassène subhumides, cette dégradation va jusqu'à la *formation de vermiculite* ; en milieu semi-aride il y a seulement *ouverture des illites* et formation d'*édifices gonflants à tendance montmorillonitique* indiquant que le milieu est déjà confiné en silicium.

— Dans les zones aval, semi-arides et arides, les ions K et Mg *agradent les minéraux argileux*, d'autant mieux et à des profondeurs d'autant plus faibles, que le milieu est plus aride ou moins bien drainé ; les *interstratifiés disparaissent*, les *illites se ferment* ; dans les horizons où le confinement s'accroît, il y a *salinisation et alcalisation* des horizons B et des *néoformations argileuses* se font : ainsi se développe l'*attapulгите* dans les *encroûtements*, d'autant mieux que le climat est plus aride.

— En Basse Moulouya, les migrations du fer sont très limitées. Ailleurs au Maroc, la migration du fer, non lié à l'argile, prend une extension comparable à celle du calcaire dans les matériaux perméables, pauvres ou appauvris en calcium, et seulement dans les régions semi-arides et sub-humides.

E. — Tant que ces sols ne sont pas utilisés par l'homme d'une façon intensive, la répartition de la matière organique n'y est pas isohumique : *l'isohumisme est une conséquence de l'intervention de l'homme*.

F. — Dans les détails, divers types de sols peuvent être distingués en fonction :

— De la *coloration rouge* et de l'*état du fer* : ces caractères sont souvent hérités des roches ou des sols transportés ; ils se modifient dans les sols en fonction du régime hydrique, de l'abondance des carbonates et des teneurs en argile.

— De la *couleur* plus ou moins sombre et de la *structure des horizons At* : ce sont des caractères instables qui se modifient rapidement dès que les facteurs du milieu varient légèrement et en particulier dès que l'homme intervient.

G. — Partout où l'homme n'a pas, en défrichant, profondément modifié les régimes hydriques et, de ce fait, ralenti l'évolution des sols, la *différenciation des sols calcimorphes* se poursuit actuellement. Les vitesses de la différenciation des caractères pédologiques sont cependant très variables :

— Il y a des *mécanismes rapides* et des caractères acquis rapidement : le développement du profil organique, par exemple.

— Il y a des *mécanismes lents* et des caractères qui s'accroissent très lentement en fonction du temps : tel est le cas de l'horizon Bca dont les faciès les plus puissants ont nécessité toute la durée du Quaternaire pour se former.

— Ces vitesses varient également selon les conditions de milieu, en particulier selon les climats.

Les sols sont donc plus ou moins vieux, souvent très vieux, et dans chaque sol il y a des caractères vieux et des caractères jeunes. Mais ces *sols vieux sont bien vivants* : ce ne sont pas des paléosols, témoins de milieux nettement différents des milieux actuels ; ils témoignent, au contraire, d'une certaine *stabilité des principaux facteurs de la pédogenèse* : il n'y a d'ailleurs pas trace, ni dans les sols, ni dans les dépôts quaternaires qui les remanient, de caractères pédologiques pouvant témoigner de climats nettement différents. Les variations climatiques du Quaternaire ont donc dû être de faible amplitude ou de courte durée ; leur existence est cependant bien confirmée par certains aspects de la répartition des sols.

# Annexes

---

## Description et analyse de quelques sols de la Basse Moulouya

### MÉTHODES D'ANALYSES ET LÉGENDE DES TABLEAUX

*Ech.* : échantillon n°.

*Prof. (cm)* : profondeur en centimètres.

*T.F.* : terre fine inférieure à 2 mm ; toutes les analyses sont faites sur cette terre fine.

*Granulométrie* : sur terre totale et sur terre préalablement décarbonatée par HCl dilué (voir chap. 2, § II) ; les fractions inférieures à 0,050 mm ont été mesurées soit à l'aide de la pipette de Robinson, soit par densimétrie.

A : argiles (< 0,002 mm).

L : limons (0,002 à 0,02 mm).

STF : sables très fins (0,02 à 0,05 mm).

SF : sables fins (0,05 à 0,2 mm).

SG : sables grossiers (0,2 à 2 mm).

*Calcaire* : par mesure du CO<sub>2</sub> dégagé (calcimètre Bernard)  
ou dosage de Ca et Mg après attaque HCl.

*pH* : eau : terre/eau = 1/2,5.  
 KCl : terre/KCl normal = 1/2,5.  
 sat. : pH de la pâte saturée.  
 Electro-pH mètre Metrohm.

*Sels tot.* : sels solubles totaux par mesure de la conductivité :

E.S. : conductivité en mmhos de l'extrait de saturation.

E.A. : sels totaux en g/Kg d'après la conductivité d'un extrait terre/eau = 1/5.

*Complexe adsorbant* :

1. Sols non calcaires : deux méthodes :

- a Extraction des cations par une solution normale de  $\text{ClNH}_4$  à pH 8,5, en solution dans l'alcool éthylique à 60% ; déplacement de l'ammonium adsorbé par le  $\text{NO}_3\text{K}$  ;
- b Méthode internationale à l'acétate d'ammonium, N, pH 7.

2. Sols calcaires : deux méthodes :

- a Méthode  $\text{ClNH}_4$  citée ci-dessus en 1-a (avec corrections pour la solubilité des carbonates) ;
- b Extraction de Na et K par l'acétate d'ammonium N, pH 7. Extraction de Ca et Mg par l'acétate de sodium N, pH 8,2, avec double extraction pour correction des carbonates dissous. Capacité d'échange d'après le Na adsorbé après lavage à l'éthanol à 95°.

*Matières organiques* :

T : totales.

C : carbone : méthode de WALKLEY-BLACK.

N : azote : méthode de KJELDAHL.

*Matières humiques* :

— Extraction des acides humiques et fulviques par le pyrophosphate de sodium 0,1 M, pH 10 (méthode THOMANN).

— Séparation des divers acides humiques par électrophorèse sur papier par la méthode de DUCHAUFOR et JACQUIN.

T : matières humiques totales en C %.

AF : acides fulviques en C %.

AH : T : acides humiques totaux en C %.

B, I, G : acides humiques bruns, intermédiaires et gris en % des acides humiques totaux.

Ch/Ct : C des matières humiques totales sur C total.

$\text{K}_2\text{O}$  T : potasse totale : attaque par  $\text{NO}_3\text{H}$  concentré à l'ébullition pendant 5 heures. Photométrie de flamme après précipitation des hydroxydes.

$\text{K}_2\text{O}$  A : potasse assimilable : extraction du potassium soluble et échangeable par l'acétate d'ammonium N, pH 7. Photométrie de flamme.

$\text{P}_2\text{O}_5$  T : phosphore total : attaque par  $\text{NO}_3\text{H}$  concentré à l'ébullition pendant 5 heures. Colorimétrie céruléomolybdique par l'acide ascorbique (méthode DUVAL).

$\text{P}_2\text{O}_5$  A : phosphore assimilable : méthode TRUOG.

$Fe_2O_3$  :

- T. tot. : par rapport à la terre totale.
- T. n. calc. : par rapport à la terre non calcaire (calcul).
- T : fer total : extraction par attaque au réactif triacide ; volumétrie du Fe par le bichromate.
- L : fer libre : méthode DEB.

*Extrait de saturation* : bilan ionique de l'extrait de pâte saturée :

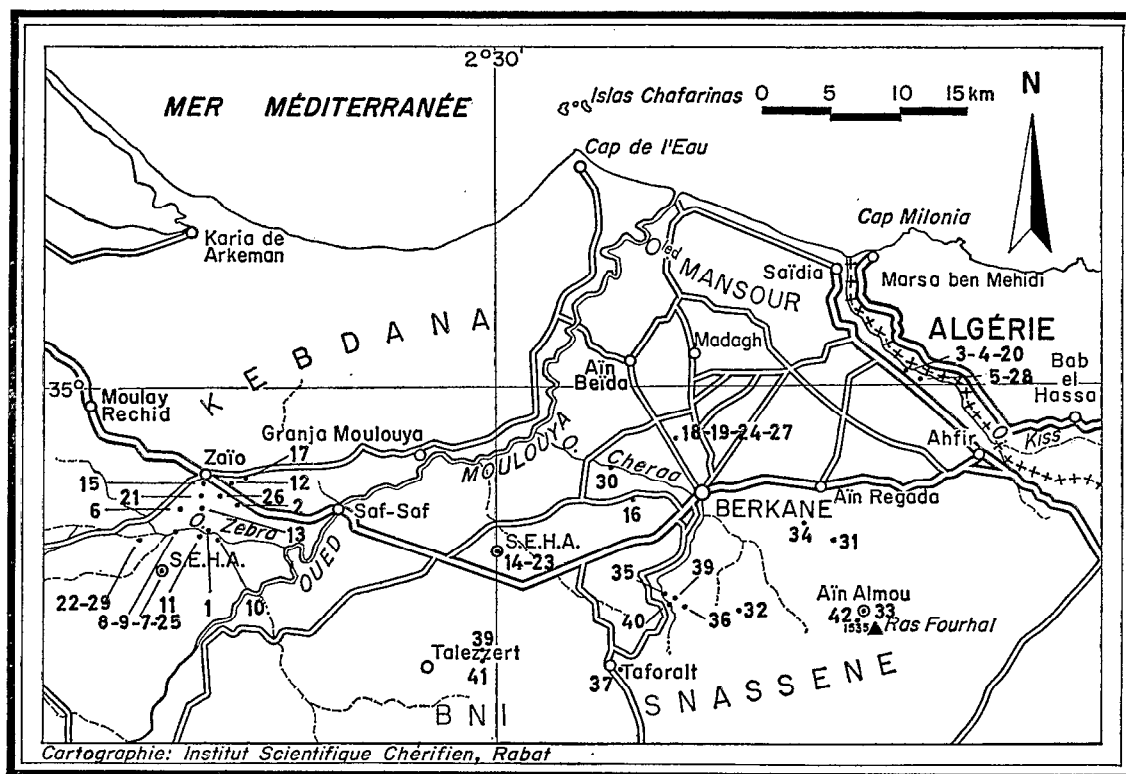
- Ca et Mg : volumétrie de l'E.D.T.A.
- Na et K : photométrie de flamme.
- Cl : volumétrie par le nitrate d'argent.
- SO<sub>4</sub> : volumétrie après précipitation du sulfate de benzidine.
- CO<sub>3</sub> et HCO<sub>3</sub> : volumétrie par l'acide sulfurique.

*Stabilité structurale* : méthode HENIN.

- S.G. : sables grossiers.
- Eau : traitement à l'eau.
- Alc. : traitement à l'alcool.
- Benz. : traitement au benzène.
- Moy. : moyenne.
- Is : indice d'instabilité structurale.

*K* : perméabilité en laboratoire par la méthode HENIN.*C.R.* : capacité de rétention : centrifugation à 1 000 g pendant 30 minutes.*D.A.* : densité apparente : sur le terrain ; méthode du sable.*Analyse totale* : triacide par la méthode ORSTOM (laboratoire de Bondy).





Fiches N°	Profils N°	Fiches N°	Profils N°
1	N 12	22	1-4-59-4
2	12-5-60-4	23	5-5-68-1
3	2-5-68-3	24	ABO-19
4	M-13-6-63-6	25	13-7
5	M-13-6-63-20	26	1-3-60-14
6	27-5-60-1	27	ABO-1-40
7	12-7	28	2-5-68-5
8	11-1-60-2	29	16-4-59-1
9	31-12-59-2	30	18-12-61-1
10	13-4-59-6	31	3-5-68-6
11	4-5-68-1	32	30-4-68-6
12	8-3-60-10	33	3-5-68-1
13	21-3-60-27	34	3-5-68-8
14	BOU-RI-V	35	30-4-68-1
15	14-6-60-2	36	30-4-68-4
16	2-5-68-1	37	29-4-68-1
17	1-5-68-3	38	14-1-64-3
18	ABO-31	39	30-4-68-2
19	ABO-20	40	23-9-63-3
20	M-13-6-63-7	41	28-10-63-4
21	21-3-60-24	42	3-5-68-4

FIG. 41 — Situation des profils cités en exemples dans les plaines et les montagnes de la Basse Moulouya.

I. — LES SOLS DE PLAINES : fiches n<sup>os</sup> 1 à 30.

- Les sols sont groupés d'après les types de différenciation pédologique définis à la fin du chapitre 2.
- Sur chaque fiche, le sol est classé d'après la classification de G. AUBERT (1965 *a* et *b*) et d'après la classification américaine (U.S.D.A. 1967).
- Le tableau X, placé dans le chapitre 2, p. 82, récapitule les correspondances entre les diverses dénominations.

## A. — Les sols à profil calcaire non différencié

	<i>Fiches</i> <i>n°</i>
SOLS CALCAIRES.	
<i>At clair :</i>	
Profil textural argileux irrégulier .....	1
Profil textural argileux absent.....	2
<i>At sombre :</i>	
Profil textural argileux irrégulier .....	3
SOLS NON CALCAIRES.	
<i>At sombre :</i>	
Profil textural argileux irrégulier .....	4
Profil textural argileux à croissance régulière .....	5

## FICHE DE PROFIL N° 1

Profil n° : N 12

Localisation : Plaine du Zebra ; point N 12 (34° 54' N, 2° 45' W) ; altitude : 95 m.

Classification : Sol peu évolué, d'origine non climatique, d'apport, modal, sur alluvions du Quaternaire.  
Entisol : xerofluvent typic.

Climat : Méditerranéen aride ; environ 270 mm.

Site : Lit majeur de l'oued Zebra ; sur une petite butte du bourrelet alluvial.

## Description du sol :

0-20 cm : Brun à brun-rouge assez foncé. Calcaire. Limono-sableux et caillouteux. Structure peu développée, à tendance nuciforme. Limite inférieure abrupte et ondulée.

Echantillons : A = 0-5 cm.

20-30 cm : Cailloutis à matrice sableuse. Limite inférieure abrupte et ondulée.

30-85 cm : Brun à brun-rouge un peu plus clair. Calcaire. Limono-sableux ; un peu caillouteux. Structure à tendance continue : éléments coprogènes assez nombreux. Compacité faible. Limite inférieure abrupte et ondulée.

Echantillons : B = 42-47 cm

C = 75-85 cm.

Au-dessous de 85 cm : Cailloutis.

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)				
			A	L	STF	SF	SG
A	0-5	97,5	16,6	7,2	7,2	36,7	32,3
B	42-47	91,5	17,0	3,0	8,6	36,6	34,8
C	75-85	92,9	19,0	4,0	5,9	40,5	30,8

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Matières organiques (‰)				C. R. (%)
		Eau	KCl		T	C	N	C/N	
A	22,2	8,2	7,7	0,3	8,2	4,7	0,4	11,2	15,0
B	23,1	8,4	7,7	0,55	7,9	4,6			13,0
C	24,2	8,7	7,75	0,35	8,6	5,0			13,5

## FICHE DE PROFIL N° 2

*Profil n°* : 12-5-60-4*Climat* : Méditerranéen aride ; environ 270 mm.*Classification* : Sol peu évolué, d'origine non climatique, d'apport, modal, sur alluvions de Quaternaire.  
Entisol : xerofluent typic.*Site* : Vallée sèche importante, dans le fond de cette vallée ; pente de 0,4% ; drainage moyen ; érosion moyenne.*Localisation* : Plaine du Zebra ; point T 326 (34° 55' N, 2° 42' W) ; altitude : 79 m.*Utilisation* : Pâturage.*Surface* : Microrelief bosselé.*Description du sol :*

0-8 cm : Brun-rouge foncé (5 YR 3,5/4) tout à fait en surface, devenant brun-rouge plus clair vers la profondeur (5 YR 4/4). Calcaire. Limoneux en surface, devenant plus argileux en profondeur. Structure peu développée à tendance nuciforme en surface, polyédrique en profondeur ; éléments coprogènes nombreux. Racines nombreuses et profondes. Limite inférieure abrupte et ondulée.

Echantillons : A' = 0-5 cm

A = 15-20 cm

B = 30-35 cm

C = 50-55 cm

D = 70-80 cm

80-85 cm : Cailloutis.

Au-dessous de 85 cm : Brun-rouge. Calcaire. Finement limono-argileux. Structure peu développée à tendance polyédrique ; éléments coprogènes.

Echantillons : E = 95-105 cm

F = 120-130 cm

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)				
			A	L	STF	SF	SG
A'	0- 5	92,0	19,8	45,0	17,2	13,4	4,6
A	15- 20	98,0	22,1	46,4	15,1	12,5	3,9
B	30- 35	95,0	27,2	29,2	14,8	24,8	4,0
C	50- 55	87,0	27,4	34,6	12,9	20,3	4,8
D	70- 80	95,0	27,2	34,2	11,5	17,2	9,9
E	95-105	93,0	34,2	35,3	13,1	12,2	5,2
F	120-130		34,5	35,5	15,2	11,1	3,7

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	K <sub>2</sub> O (‰)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (‰)		C. R. (%)
		Eau	KCl		T	A	T	A	
A'	16,8	8,75	7,15	0,75	7,4	0,4	0,72	0,11	22,4
A	17,4	8,75	7,25	1,00	2,5	0,75	1,26	0,07	32,4
B	18,7	9,00	7,25	0,80	4,4	0,48	1,22	0,08	
C	17,9	9,00	7,30	0,80	5,5	0,45	1,34	0,10	27,0
D	24,9	9,10	7,25	0,65					
E	22,0	9,00	7,30	0,60					
F	22,4	9,05	7,25	0,55					

[illegible]

## FICHE DE PROFIL N° 3

*Profil n°* : 2-5-68-3*Climat* : Méditerranéen semi-aride ; environ 420 mm.*Classification* : Sol peu évolué, d'origine non climatique, d'apport, modal, sur alluvions du Quaternaire.  
Mollisol : haploxèroll entic.*Site* : Basse terrasse de l'oued Kiss ; pente de 0,5% ; drainage bon ; érosion faible.*Localisation* : Plaine des Triffa ; point 93a (35°0' N, 2°10' W) ; altitude 105 m.*Utilisation* : Céréales en sec, jachère, pâturage.*Description du sol* :

0-45 cm : Brun foncé (7,5 YR 3,5/3 en surface, 4/3 en profondeur). Calcaire. Limono-sableux en surface, puis limoneux. Structure peu développée, à tendance nuciforme ; nombreux éléments coprogènes ; forte porosité. Limite inférieure distincte et ondulée.

Echantillons : A = 1-10 cm  
B = 19-28 cm  
C = 34-44 cm

45-100 cm : Brun foncé à brun (7,5 YR 4/4). Calcaire. Limono-sableux. Structure continue ; tendance nuciforme vers le haut ; éléments coprogènes moins nombreux ; bonne porosité. Limite inférieure distincte et ondulée.

Echantillons : D = 50-58 cm  
E = 75-83 cm

100-125 cm : Beaucoup plus sableux.

Au-dessous de 125 cm : Cailloutis et galets.

Ech	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					Granulométrie terre décarbonatée (%)				
		A	L	STF	SF	SG	A	L	STF	SF	SG
A	1-10	15,8	14,6	17,7	38,0	13,9	14,5	12,1	20,0	35,9	17,5
B	19-28	15,3	13,0	19,8	40,8	11,1	14,5	14,2	16,0	44,4	10,9
C	34-44	20,9	14,2	24,4	35,3	5,2	18,7	15,6	17,5	42,5	5,7
D	50-58	12,4	12,0	29,5	42,0	4,1	13,3	12,3	22,5	47,0	4,9
E	75-83	13,9	12,7	26,2	40,0	7,2	15,0	14,0	15,2	45,8	10,0

Ech	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Complexe adsorbant meq/100 g					
		Eau	KCl		Ca	Mg	Na	K	S	T
A	17,9	8,2	7,7	0,9	12,4	4,0	0,7	0,85	17,95	16,5
B	17,9	8,45	7,5	0,4	18,8	9,8	1,59	0,68	30,87	31,25
C	17,9	8,65	7,5	0,5	22,4	9,4	2,18	0,7	34,68	33,75
D	18,3	8,8	7,6	0,5	17,4	3,2	2,28	0,31	23,19	21,25
E	18,3	8,7	7,6	0,5	15,3	7,8	0,9	0,9	24,9	25,2

Ech.	Matières organiques (‰)					Matières humiques en C (%)						
	T	C	N	C/N	T	AF	AH				AF/AH	Ch/Ct
							T	B (%)	I (%)	G (%)		
A	17,7	10,3	1,1	9,4	1,82	0,51	1,31	22,9	16,1	61,0	0,39	0,18
B	16,0	9,3	0,9	10,3	1,02	0,01	1,01	37,5	15,5	47,0	0,01	0,11
C	13,4	7,8	0,9	8,6	1,31	0,37	0,94	29,8	13,9	56,3	0,39	0,17
D	11,2	6,5	0,7	9,3								
E	11,2	6,5	0,7	9,3								



## FICHE DE PROFIL N° 4

Profil n° : M-13-6-63-6

Climat : Méditerranéen semi-aride ; environ 420 mm.

Classification : Sol peu évolué, d'origine non climatique, d'apport, modal, sur alluvions et colluvions du Quaternaire.

Site : Au fond d'un vallon étroit ; pente de 0,5 % ; drainage moyen ; érosion moyenne.

Mollisol : haploxeroll entic.

Utilisation : Céréales en sec, jachère, pâturage.

Localisation : Plaine des Triffa ; point A 25 (35° 0' N, 2° 10' W) ; altitude : 111 m.

Surface : Microrelief ondulé.

## Description du sol :

0-21 cm : Brun-rouge foncé. Non calcaire. Limono-argilo-sableux. Structure peu développée, à tendance nuciforme ; compacité assez forte. Limite inférieure graduelle et régulière.  
Echantillon : A = 10-20 cm

21-58 cm : Rouge. Non calcaire. Limono-argilo-sableux. Structure assez bien développée, polyédrique moyenne. Limite inférieure distincte et ondulée.  
Echantillons : B = 25-35 cm  
C = 55-65 cm

68-88 cm : Brun-rouge assez foncé. Non calcaire. Limono-argilo-sableux. Structure polyédrique moyenne assez bien développée. Limite inférieure graduelle et régulière.  
Echantillon : D = 70-80 cm

Au-dessous de 88 cm : Rouge. Non calcaire. Devient progressivement argilo-sableux. Structure de plus en plus massive, continue, vers le bas ; sous-structure à tendance polyédrique ; compacité assez faible.  
Echantillon : E = 95-105 cm

Ech.	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		
		A	L	STF	SF	SG	T	L	L/T
A	10- 20	24,9	4,5	5,0	33,7	31,9	3,48	2,28	0,65
B	25- 35	28,2	4,9	2,7	30,9	33,3	3,84	2,28	0,59
C	55- 65	23,8	5,9	3,7	32,4	34,2	4,32	2,38	0,50
D	70- 80	31,7	7,1	5,3	31,6	24,3	4,40	2,70	0,61
E	95-105	47,6	3,6	3,3	25,4	20,1	5,08	3,26	0,64

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Matières organiques (%)			
		Eau	KCl		T	C	N	C/N
A	0,1	8,45	6,35	0,75	15,4	8,9	0,7	12,7
B	0,1	8,6	6,2	0,3	6,3	3,6	1,1	3,3
C	0,1	8,75	6,45	1,05	4,6	2,7	1,1	2,5
D	0,1	8,55	6,35	0,75	11,5	6,6	1,3	5,1
E	0,2	8,7	6,35	0,65	7,2	4,2	1,1	3,8

## FICHE DE PROFIL N° 5

Profil n° : M-13-6-63-20

Climat : Méditerranéen semi-aride ; environ 420 mm.

Classification : Sol peu évolué, d'origine non climatique, d'apport, modal, sur alluvions et colluvions du Quaternaire.

Site : Terrasse d'un affluent de l'oued Kiss ; pente de 4% ; drainage moyen ; érosion faible.

Mollisol : argixeroll typic.

Utilisation : Céréales en sec, jachère, pâturage.

Localisation : Plaine des Triffa ; point A 39 (34° 59' N, 2° 9' W) ; altitude : 151 m.

## Description du sol :

0-18 cm : Brun-rouge foncé. Non calcaire. Limono-sableux. Structure assez bien développée, polyédrique à nuciforme ; sous-structure grenue et grumeleuse ; sur-structure à tendance prismatique large ; porosité moyenne. Limite inférieure graduelle et régulière.

Echantillons : A = 0- 5 cm

B = 7-15 cm

Au-dessous de 18 cm : Couleur de plus en plus rouge vers le bas. Non calcaire ; quelques pseudo-mycéliums calcaires apparaissent au-dessous de 60 cm. Texture devenant progressivement plus argileuse. Structure polyédrique moyenne, assez bien développée ; éléments coprogènes nombreux ; bonne porosité ; augmentation progressive, vers le bas, de la compacité, et diminution de la porosité.

Echantillons : C = 20- 30 cm

D = 40- 50 cm

E = 60- 70 cm

F = 95-105 cm

G = 125-135 cm

Ech.	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		
		A	L	STF	SF	SG	T	L	L/T
A	0- 5	14,1	11,9	8,5	40,0	25,5			
B	7- 15	15,3	13,7	8,5	38,4	24,1	3,40	2,06	0,61
C	20- 30	20,2	12,1	6,8	34,9	26,0			
D	40- 50	24,8	10,3	5,7	34,0	25,2	3,80	2,38	0,63
E	60- 70	30,2	7,8	5,8	29,1	27,1			
F	95-105	33,5	5,1	2,7	26,0	32,7	4,69	2,72	0,59
G	125-135	33,0	4,6	3,1	28,6	30,7	4,36	2,66	0,61

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Matières organiques (‰)			
		Eau	KCl		T	C	N	C/N
A	0,1	8,35	6,4	0,45	19,0	11,0	1,3	8,5
B	0,05	8,7	6,55	0,45	18,7	10,8	1,3	8,3
C	0,1	8,6	6,45	0,5	16,6	9,6	1,0	9,6
D	0,1	8,7	6,5	0,45	10,8	6,3	1,0	6,3
E	0,4	8,9	6,6	0,6	6,8	3,9	0,6	6,5
F	0,6	8,85	6,55	0,75	2,2	1,3	0,6	2,2
G	0,2	8,8	6,45	0,7	1,5	0,9	0,7	1,3

**B. — Les sols à profil calcaire peu différencié.***Fiches*  
*n°*

## ACA CALCAIRE.

*At clair :*

Profil textural argileux à croissance régulière ..... 6

*At très clair :*

Profil textural argileux à maximum peu développé ..... 7

## FICHE DE PROFIL N° 6

*Profil n° : 27-5-60-1**Climat : Méditerranéen aride ; environ 270 mm.**Classification : Sol peu évolué, d'origine non climatique, d'apport, modal, sur alluvions et colluvions du Quaternaire.**Site : Au fond d'un vallon étroit ; pente de 2% ; drainage moyen ; érosion moyenne.**Entisol : xerofluent typic.**Utilisation : Céréales en sec, jachère, pâturage.**Localisation : Plaine du Zebra ; point T 375 (34° 55' N, 2° 45' W) ; altitude : 115 m.**Surface : Microrelief bosselé ; cailloux et graviers nombreux.**Description du sol :*

0-10 cm : Brun assez clair. Calcaire. Limono-sableux ; caillouteux. Surface localement caillouteuse. Structure peu développée à tendance nuciforme ; structure lamellaire en surface. Limite inférieure abrupte et ondulée.

Echantillon : A = 0-4 cm

10-70 cm : Brun plus rouge et plus foncé ; redevient clair en profondeur. Calcaire. Limono-sableux, devenant, vers la profondeur, de plus en plus limoneux et argileux ; un peu caillouteux en profondeur. Structure peu développée à tendance polyédrique. Limite inférieure abrupte et ondulée.

Echantillons : B = 10-14 cm

C = 22-27 cm

D = 37-42 cm

E = 48-53 cm

F = 62-67 cm

70-72 cm : Cailloutis.

Au-dessous de 72 cm : Rouge-jaunâtre. Calcaire. Limono-argileux. Structure peu développée à tendance polyédrique.

Echantillons : G = 77- 82 cm

H = 95-105 cm

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				
			A	L	STF	SF	SG	T. tot.		T. n. calc.		L/T
								T	L	T	L	
A	0- 4	97,5	12,6	22,6	23,8	22,1	18,9	3,72	1,80	4,60	2,23	0,48
B	10- 14	97,7	12,8	30,9	13,8	31,3	11,2	4,36	2,00	5,12	2,35	0,46
C	22- 27	97,5	16,3	31,2	12,8	29,5	10,2	4,68	2,16	5,60	2,59	0,46
D	37- 42	92,0	18,8	36,2	15,3	20,3	9,4	4,72	2,20	5,83	2,72	0,47
E	48- 53	94,4	19,6	37,9	12,0	18,4	12,1	4,53	2,04	5,65	2,55	0,45
F	62- 67	85,0	24,9	37,2	9,0	16,2	12,7	4,48	2,04	5,48	2,50	0,46
G	77- 82	87,2	30,9	30,7	7,4	19,0	12,0	4,32	2,00	5,45	2,53	0,46
H	95-105	94,4	34,4	31,3	17,0	8,1	9,2	4,32	2,00	5,75	2,66	0,45

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Matières organiques (‰)			
		Eau	KCl		T	C	N	C/N
A	19,1	8,55	7,4	0,7	20,2	11,7	1,3	9,3
B	14,8	8,45	7,3	0,9	27,2	16,2	1,6	10,0
C	16,5	8,65	7,45	0,8	19,0	11,0	1,2	9,1
D	19,1	8,7	7,45	0,85	15,0	8,7	0,9	9,5
E	20,0	8,7	7,45	0,9	17,2	10,0	0,8	12,3
F	18,3	8,65	7,4	0,9	17,5	10,2	1,1	9,4
G	20,8	8,6	7,35	0,9	11,5	6,7	0,7	9,2
H	24,9	8,6	7,35	1,0	6,9	3,9	0,6	7,0

Ech.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (‰)		K <sub>2</sub> O (‰)		Stabilité structurale					C. R. (%)
	T	A	T	A	Agrégats stables — S.G. (%)				Is	
					Eau	Alc.	Benz.	Moy.		
A	1,22	0,15	4,7	0,96	8,6	18,3	5,4	10,8	3,5	18,6
B	1,22	0,14	6,7	1,38	6,4	18,5	3,9	9,7	3,8	23,8
C	1,09	0,11	5,6	0,90	10,2	30,0	2,4	14,2	2,9	24,0
D	1,47	0,04	6,9	0,81	18,9	45,5	2,4	22,2	2,0	26,4
E	1,47	0,08	6,4	0,96	28,1	49,1	3,2	26,8	2,0	26,0
F	1,68	0,12	7,2	1,08	17,3	44,2	3,0	21,5	2,4	26,4
G	1,47	0,13	4,8	0,90	5,4	36,6	2,9	15,0	3,9	24,2
H	0,96	0,11	2,9	0,66	5,6	35,3	2,2	14,7	3,8	24,8

## FICHE DE PROFIL N° 7

Profil n° : 12-7.

Climat : Méditerranéen aride ; 270 mm environ.

Classification : Sol peu évolué, d'origine non climatique, d'apport, modal, sur alluvions et colluvions du Quaternaire.

Site : Au fond d'un large vallon ; pente de 1,2% ; drainage moyen ; érosion faible.

Entisol : xerofluvent typic.

Utilisation : Céréales en sec, jachère, pâturage.

Localisation : Plaine du Zebra ; S.E.H.A., parcelle 12 (34° 52' N, 2° 45' W) ; altitude : 115 m.

## Description du sol :

0-70 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 4/6), un peu plus clair en profondeur. Calcaire. Limoneux en surface, devenant progressivement plus argileux en profondeur. Structure lamellaire sur quelques millimètres (glaçage de surface), puis polyédrique à nuci-forme puis polyédrique large, assez mal développée ; éléments coprogènes. Limite inférieure diffuse.

Echantillons : A = 5-13 cm

B = 20-28 cm

C = 35-45 cm

D = 60-70 cm

Au-dessous de 70 cm : Apparition de quelques amas friables calcaires. Structure polyédrique peu développée.

Echantillons : E = 80-90 cm

F = 110-120 cm

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Granul. terre décarb. (%)			
			A	L	STF	SF	SG	A	L	STF + SF	SG
A	5- 13	97,9	27,2	41,0	8,0	17,3	6,5	32	39	27	2
B	20- 28	94,7	34,7	40,7	6,1	12,5	6,0	35	34	29	2
C	35- 45	96,7	34,9	38,3	6,6	14,8	5,4	35	35	28,5	1,5
D	60- 70	97,9	39,2	33,1	9,8	12,9	5,0	41	26	32	1
E	80- 90	95,9	36,0	30,2	8,5	19,5	5,8	36	33	29	2
F	110-120	99,7	33,5	32,1	10,2	17,9	6,3	33	31,5	34	1,5

Ech.	Calcaire (%)	pH			Sels totaux		Complexe adsorbant meq/100 g					
		Eau	KCl	Sat.	E. S. (mmh)	E. A. (‰)	Ca	Mg	Na	K	S	T
A	21,4	8,65	7,45	8,05	1,9	1,15	25,5	3	0,5	2	31	31
B	26,2	8,6	7,5	8,0	1,75	0,95	22	4	0,5	1,5	28	28
C	27,8	8,55	7,45	7,95	2,2	1,1	20	4	0,5	1	25,5	25,5
D	27,8	8,4	7,45	8,15	4,55	1,7	18	5	0,5	1	24,5	24,5
E	29,6	8,6	7,6	8,1	2,8	1,15	17	5,5	0,5	0,5	23,5	23,5
F	27,8	8,75	7,65	8,3	1,5	0,8	14	6,5	0,5	0,5	21,5	21,5

Ech.	Matières organiques (°/oo)				K <sub>2</sub> O (°/oo)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (°/oo)	Stabilité structurale						C.R. (%)
							Agrégats stables — S.G. (%)						
	T	C	N	C/N	T	T	A	Eau	Alc.	Benz.	Moy.	Is	
A	28,1	16,3	1,51	10,8	9,45	1,6	0,18	7,1	9,4	3,0	13,2	4,25	27,8
B	15,3	8,9	0,98	9,1	8,06	0,67	0,14	25,1	52,4	1,1	26,2	2,3	26,4
C	12,2	7,1	0,78	9,1	8,48	0,96	0,13	20,0	50,0	1,4	23,8	2,6	25,4
D	6,6	3,9	0,5	7,8	5,78	0,80	0,10						23,8
E	4,6	2,6					0,12						22,4
F	2,3	1,3					0,05						21,0

Extrait de saturation											
Ech.	Cations meq/100 g					Anions meq/100 g					Anions + Cations (‰)
	Ca	Mg	Na	K	Total	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Total	
A	0,4	0,1	0,1	0,1	0,7	0,15	0,1	0	0,15	0,4	0,35
B	0,3	0,15	0,1	0,08	0,63	0,1	0,1	0	0,1	0,3	0,27
C	0,4	0,2	0,2	0,05	0,85	0,2	0,05	0	0,1	0,35	0,31
D	0,95	0,55	0,2	0,04	1,74	0,65	0,05	0	0,05	0,75	0,61
E	0,5	0,35	0,15	0,02	1,02	0,45	0,05	0	0,05	0,55	0,38
F	0,15	0,2	0,15	0,01	0,51	0,3	0,05	0	0,05	0,4	0,24

## C. — Les sols à profil calcaire moyennement différencié

Fiches  
n°

## ACA CALCAIRE.

*Bca à amas friables peu nombreux :*

At clair ; profil textural argileux à maximum peu développé ..... 8

*Bca à amas friables :*

At très clair ; profil textural argileux à maximum peu développé .. 9

At très clair ; profil textural argileux à maximum développé ..... 10 - 11

*Bca à amas friables et nodules :*

At très clair ; Bca double ..... 12 - 13

At clair ..... 14

## ACA PEU CALCAIRE

*Bca à amas friables et nodules :*

At clair ..... 15 - 16

## ACA NON CALCAIRE.

*Bca à amas friables et nodules :*

At clair ; Bca double ..... 17 - 18

At clair ; Bca simple ..... 19

At sombre ; Bca simple ..... 20



## FICHE DE PROFIL N° 8

Profil n° : II-I-60-2

Climat : Méditerranéen aride ; environ 270 mm.

Classification : Sol isohumique, à complexe saturé, brun-rouge subtropical, sur alluvions du Quaternaire.  
Aridisol : calciorthid mollic.

Site : Basse terrasse de l'oued Zebra ; pente de 1,5% ; drainage bon ; érosion faible.

Localisation : Plaine du Zebra ; point S 65 f (34° 54' N, 2° 46' W) ; altitude : 107 m.

Utilisation : Céréales en sec, jachère, pâturage.

## Description du sol :

0-45 cm : Brun (7,5 YR 4/4), plus clair en profondeur (7,5 YR 6/4). Calcaire. Limoneux. Structure lamellaire en surface (glaçage), puis structure polyédrique à nuciforme, plus polyédrique en profondeur ; sous-structure à tendance grumeleuse dans les 10-20 premiers centimètres ; éléments coprogènes. Limite inférieure diffuse.

Echantillons : A = 10-15 cm

B = 35-40 cm.

45-100 cm : Plus rouge (5 YR 5/6). Calcaire : quelques amas friables calcaires. Limono-argileux. Structure polyédrique grossière ; éléments coprogènes peu nombreux. Limite inférieure abrupte et ondulée.

Echantillons : C = 50-60 cm

D = 80-90 cm

100-105 cm : Cailloutis.

Au-dessous de 105 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 5/8). Calcaire ; amas friables calcaires plus nombreux ; quelques granules calcaires. Moins argileux. Structure polyédrique moyenne, bien développée.

Echantillon : E = 105-115 cm

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Granul. terre décarbonatée (%)			
			A	L	STF	SF	SG	A	L	STF + SF	SG
A	10- 15	95,0	22,0	43,0	11,3	15,1	7,6	29	41	27	3
B	35- 40	95,8	25,3	42,1	12,7	12,7	7,2	37	37	24	2
C	50- 60	96,6	40,5	26,3	12,7	13,8	6,7	47	25	25	3
D	80- 90	95,8	37,1	25,4	7,7	22,1	7,7	42	22	30	6
E	105-115	84,2	28,2	23,2	12,5	26,4	11,7	41	10	38	11

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Matières organiques (‰)	
		Eau	KCl		T	C
A	26,9				17,0	9,9
B	30,2	8,35	7,5	1,10	12,0	7,0
C	29,3				8,0	4,6
D	29,3	8,5	7,6	1,15	5,3	3,0
E	34,1				4,0	2,3

## FICHE DE PROFIL N° 9

Profil n° : 31-12-59-2

Climat : Méditerranéen aride ; environ 270 mm.

Classification : Sol isohumique, à complexe saturé, brun-rouge subtropical, sur alluvions du Quaternaire.  
Aridisol : calciorthid mollic.

Site : Terrasse de l'oued Zebra ; pente de 1% ; drainage bon ; érosion faible.

Localisation : Plaine du Zebra ; point S 64 a (34° 54' N, 2° 46' W) ; altitude : 109 m.

Utilisation : Céréales en sec, jachère, pâturage.

## Description du sol :

0-30 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 5/6). Calcaire. Limoneux. Structure lamellaire sur quelques millimètres (glacage de surface), puis polyédrique à nuciforme, puis polyédrique grossière ; sous-structure grumeleuse peu développée. Eléments coprogènes. Limite inférieure graduelle et ondulée.

Echantillons : A = 5-10 cm  
B = 15-20 cm

30-55 cm : Apparition de pseudo-mycéliums calcaires et de quelques amas friables calcaires mal délimités. Structure polyédrique un peu plus fine. Limite inférieure diffuse.

Echantillon : C = 35-40 cm.

55-85 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 4,5/8). Calcaire : amas friables calcaires assez nombreux et bien indivi-

dualisés. Limono-argileux. Structure polyédrique moyenne ; éléments coprogènes peu nombreux. Limite inférieure diffuse.

Echantillons : D = 55-65 cm  
E = 70-80 cm

85-100 cm : Diminution progressive de la densité des amas friables calcaires.

Echantillon : F = 85-95 cm

Au-dessous de 100 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 4/8). Calcaire ; amas friables calcaires peu nombreux, mal délimités. Limoneux. Structure polyédrique moyenne.

Echantillon : H = 120-130 cm

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)				
			A	L	STF	SF	SG
A	5- 10	90,0	23,6	21,6	15,2	27,0	12,6
B	15- 20	90,8	24,3	22,2	14,9	28,0	10,6
C	35- 40	93,3	26,6	20,7	14,3	28,4	10,0
D	55- 65	96,4	30,2	18,8	14,5	28,3	8,3
E	70- 80	97,1	30,0	19,7	11,7	31,7	6,9
F	85- 95	97,2	30,6	15,4	15,2	33,9	4,9
G	105-115	96,7	24,3	19,6	15,3	34,6	6,2
H	120-130	95,8	26,8	24,8	17,4	24,1	6,9

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Matières organiques (‰)	
		Eau	KCl		T	C
A	21,9				14,3	8,3
B	23,5	8,8	7,45	0,9	12,4	7,2
C	26,0				6,0	3,5
D	24,0	8,8	7,75	1,75	4,7	2,7
E	23,5				3,3	1,9
F	21,0			2,25	2,4	1,4
G	19,4				2,2	1,3
H	25,6			2,6	1,9	1,1

## FICHE DE PROFIL N° 10

Profil n° : 13-4-59-6

Climat : Méditerranéen aride ; environ 270 mm.

Classification : Sol isohumique, à complexe saturé, brun-rouge subtropical, sur alluvions du Quaternaire. Aridisol : calciorthid mollic.

Site : Terrasse de l'Oued Zebra ; pente de 1,5% ; drainage moyen ; érosion faible.

Localisation : Plaine du Zebra ; point N 24 (34° 53' N, 2° 43' W) ; altitude : 90 m.

Utilisation : Céréales, jachère, pâturage.

## Description du sol :

0-13 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 4/6). Calcaire. Limoneux. Structure lamellaire sur quelques millimètres (glaçage de surface), puis polyédrique à nuciforme, puis polyédrique grossière ; sous-structure grumeleuse peu développée ; éléments coprogènes assez nombreux. Limite inférieure graduelle et régulière.

Echantillons : A = 0-5 cm

B = 5-10 cm

13-24 cm : Apparition de pseudo-mycéliums calcaires et de quelques amas friables calcaires mal délimités. Structure polyédrique plus fine. Limite inférieure graduelle et régulière.

Echantillon : C = 15-20 cm.

24-50 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 4/6), puis rouge (2,5 YR 4/6). Calcaire : amas friables calcaires nombreux, de petites dimensions (quelques millimètres), bien individualisés. Limono-argileux : les taux d'argile augmentent puis rediminuent ; par grosses taches, c'est nettement plus argileux et rouge. Structure polyédro-cubique moyenne à facettes lissées ; éléments coprogènes peu nombreux ;

bonne porosité fine. Limite inférieure graduelle et régulière.

Echantillons : D = 24-28 cm

E = 32-37 cm

F = 41-46 cm

50-105 cm : Rouge (2,5 YR 5/6), puis brun-rouge (5 YR 5/4). Calcaire : diminution progressive du nombre des amas friables calcaires qui disparaissent vers 80 cm. Texture de moins en moins argileuse. La structure devient progressivement massive. La porosité fine reste importante. Vers 80-90 cm, c'est le matériau originel. Limite inférieure abrupte et régulière.

Echantillons : G = 50-54 cm

H = 58-63 cm

I = 67-71 cm

J = 75-80 cm

K = 90-95 cm

Au-dessous de 105 cm : Autre dépôt alluvionnaire, rouge-jaunâtre (5 YR 4,5/6), calcaire, limoneux, à structure massive.

Echantillons : L = 105-115 cm

M = 120-125 cm

Ech	Prof. (cm)	T.F. (%)	Granulométrie (%)					Granulométrie terre décarbonatée (%)				
			A	L	STF	SF	SG	A	L	STF	SF	SG
A	0-5	97,0	11,7	27,9	17,0	34,7	8,7	11,9	26,1	19,2	38,5	4,3
B	5-10	92,8	20,3	28,3	18,2	25,4	7,8	24,3	24,8	16,6	30,9	3,4
C	15-20	97,3	23,6	28,9	14,6	25,7	7,2	30,0	22,0	16,3	28,5	3,2
D	24-28	99,3	32,4	33,9	10,2	18,4	5,1	36,3	24,4	15,7	20,9	2,7
E	32-37	100	33,9	34,3	13,0	15,9	2,9	37,1	28,7	15,5	17,4	1,3
F	41-46	100	36,9	33,1	14,8	13,0	2,3	43,0	27,4	15,2	13,6	0,8
G	50-54	100	32,2	31,6	13,3	21,2	1,7	34,0	22,0	19,9	23,3	0,8
H	58-63	100	30,2	30,2	16,1	21,2	2,3	31,3	25,6	20,0	22,0	1,1
I	67-71	100	15,5	38,3	9,9	33,2	3,1					
J	75-80	99,8	23,2	25,0	17,0	28,2	6,6	24,0	23,0	21,0	26,4	5,6
K	90-95	99,9	22,9	20,7	17,9	34,7	3,8					
L	105-115	100	24,0	23,9	25,2	24,7	2,2					
M	120-125	100	24,5	24,0	22,8	26,8	1,9	28,7	13,0	25,8	31,1	1,4

Ech	Calcaire (%)	pH			Sels totaux		Complexe adsorbant meq/100 g					
		Eau	KCl	Sat.	E.S. (mmh.)	E.A. (‰)	Ca	Mg	Na	K	S	T
A	16,1	8,7	7,6	8,05	1,6	0,95	7,0	2,0	1,7	1,3	12,0	12,0
B	17,8	8,75	7,65	8,2	2,7	1,1	6,0	2,0	1,6	1,4	11,0	11,0
C	20,3	8,8	7,7	8,0	5,4	1,8	5,5	2,8	1,8	1,4	11,5	11,5
D	23,5	8,95	7,9	8,1	7,9	2,75	4,3	3,5	2,2	1,5	11,5	11,5
E	18,5	8,0	7,9	8,0	11,6	4,15	3,8	3,9	2,8	1,5	12,0	12,0
F	16,0	8,9	7,85	7,95	12,9	4,8	3,2	5,0	3,3	1,5	13,0	13,0
G	13,0	8,85	7,9	7,85	15,5	5,15	2,8	5,2	3,1	1,4	12,5	12,5
H	14,6	8,85	8,0	8,2	15,3	5,2	2,6	5,8	2,8	1,3	12,5	12,5
I	15,1	8,75	7,85	7,9	16,6	4,35						
J	17,0	8,8	7,9	7,75	17,5	4,7	2,1	5,4	2,3	1,2	11,0	11,0
K	18,3	8,75	7,85	8,15	18,1	4,6	2,7	5,0	2,1	1,2	11,0	11,0
L	16,6	8,85	7,8	8,05	16,1	5,5	2,8	5,0	1,4	1,3	10,5	10,5
M	18,8	8,75	7,75	7,95	19,2	5,25	3,2	4,0	2,3	1,0	10,5	10,5

Ech	Matières organiques (‰)				Matières humiques en C (%)								K <sub>2</sub> O (‰)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (‰)	
	T	C	N	C/N	T	AF	AH				AF/ AH	Ch/Ct	T	A	T	A
							T	B(%)	I(%)	G(%)						
A	16,5	9,6	1,09	8,8	0,9	0,6	0,3	28,5	15,0	56,5	2,0	0,09	1,2	0,71	2,1	0,17
B	14,1	8,2	1,0	8,2									1,3	0,77	0,7	0,12
C	11,2	6,5	0,8	8,1	0,77	0,58	0,19	42,0	18,0	40,0	3,05	0,14	1,4	1,06	1,0	0,11
D	7,6	4,4	0,7	6,3									1,4	1,06	1,0	0,10
E	7,2	4,2	0,6	7,0	0,67	0,59	0,08	49,0	15,5	35,5	7,38	0,23	1,4	1,02	1,8	0,08
F													1,4	1,02	1,6	0,09
G	5,3	3,1	0,5	6,2	0,49	0,45	0,04	24,5	14,0	61,5	1,12	0,26	1,5	0,77	1,8	0,05
H	4,0	2,3	0,5	4,7									1,3	0,41	2,1	1,12
I	2,6	1,5	0,4	4,2									1,15	0,83	2,1	0,14
J	2,0	1,1	0,3	3,2									1,2	0,60	1,8	0,14
K	1,7	1,0	0,3	3,6									1,05	0,54	1,8	0,11
L	1,8	1,1	0,5	2,3									1,15	0,41	1,8	0,12
M	1,5	0,9	0,4	2,5									1,3	0,38	2,1	0,05

Ech	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)					Extrait de saturation											
	T. tot.		T. n. calcaire		L/T	Cations meq/100 g					Anions meq/100 g					Anions + cations (‰)	
	T	L	T	L		Ca	Mg	Na	K	Total	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Total		
A	4,25	1,87	5,19	2,28	0,44	0,13	0,06	0,22	0,07	0,48	0,16	0,16	0,0	0,19	0,51	0,36	
B	4,65	1,96	5,66	2,38	0,42	0,26	0,11	0,34	0,12	0,83	0,64	0,09	0,0	0,11	0,84	0,52	
C	4,50	1,96	5,60	2,44	0,43	0,32	0,20	1,00	0,20	1,72	1,70	0,04	0,0	0,11	1,85	1,08	
D	5,05	1,96	6,59	2,56	0,39	0,31	0,23	1,80	0,18	2,52	2,75	0,23	0,0	0,11	3,09	1,72	
E	5,45	2,28	6,75	2,83	0,42	0,43	0,39	3,45	0,19	4,46	4,09	0,43	0,0	0,08	4,60	2,70	
F	5,60	2,44	6,71	2,92	0,44	0,50	0,54	3,80	0,17	5,01	4,60	0,70	0,0	0,12	5,42	3,15	
G	5,10	2,12	5,87	2,44	0,42	0,64	0,67	4,15	0,15	5,61	5,26	0,75	0,0	0,09	6,10	3,50	
H	5,10	2,14	6,01	2,52	0,42	0,68	0,74	4,27	0,12	5,81	5,33	0,94	0,0	0,06	6,33	3,64	
I	4,15	1,84	4,88	2,16	0,44	0,59	0,65	3,30	0,07	4,61	4,34	0,80	0,0	0,06	5,20	2,94	
J	4,60	2,03	5,52	2,43	0,44	0,66	0,72	3,88	0,07	5,33	4,81	0,85	0,0	0,06	5,72	3,29	
K	4,40	2,03	5,43	2,50	0,46	0,74	0,67	4,55	0,05	6,01	4,70	1,15	0,0	0,07	5,92	3,56	
L	4,30	2,00	5,15	2,40	0,46	0,64	0,53	4,29	0,04	5,50	4,54	0,95	0,0	0,07	5,56	3,30	
M	4,80	2,14	5,83	2,60	0,44	0,96	0,89	5,03	0,05	6,93	6,06	1,22	0,0	0,11	7,39	4,27	

Ech	Stabilité structurale					C.R. (%)	Analyse totale (triacide)										
	Agrégats stables — SG %				Is		CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Perte au feu	Ré- sidu	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> /	
	Eau	Alc.	Benz.	Moy.												Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
A	5,5	17,6	1,7	8,3	4,1	18,8	2,20	3,48	3,72	0,94	10,62	3,46	44,72	22,0	8,60	3,45	2,76
B	8,6	22,2	1,1	10,6	4,3	18,4	3,36	3,32	3,90	0,67	9,90	3,18	44,44	22,2	8,70	3,40	2,71
C	4,9	21,0	1,9	9,3	5,6	17,6	4,20	2,24	3,84	0,74	10,62	5,84	40,92	19,4	12,10	3,58	2,55
D	2,7	7,6	1,2	3,8	13,4	19,2	5,11	2,82	3,24	0,61	10,56	5,46	40,68	21,5	9,30	3,21	2,51
E	1,1	1,8	0,7	1,2	44,1	19,2	5,32	3,07	3,42	0,88	10,45	6,40	40,16	21,8	8,70	3,11	2,48
F	1,0	1,5	0,8	1,1	46,4	18,8	3,78	3,07	3,72	0,81	8,97	6,82	41,00	21,9	9,50	3,15	2,47
G	0,8	0,9	0,5	0,8	62,9	18,4	4,00	2,82	2,94	0,67	9,84	6,54	41,62	22,2	9,00	3,18	2,52
H	0,6	0,7	0,6	0,6	65,1	17,6	3,29	2,82	2,94	0,61	9,20	7,08	40,88	22,0	9,00	3,14	2,48
I	1,6	1,3	0,9	1,3	26,7	15,2	3,36	3,32	3,72	0,74	8,42	8,54	41,12	20,3	10,40	3,43	2,58
J	2,4	2,6	2,0	2,3	14,7	15,6	4,00	3,74	3,60	0,81	9,37	6,72	41,08	20,8	9,20	3,34	2,60
K	1,3	1,5	1,5	1,4	28,8	15,6	3,85	3,57	3,12	0,81	8,86	7,12	41,22	21,4	9,00	3,25	2,56
L	0,8	0,8	0,7	0,8	62,5	15,6	3,92	3,48	3,65	1,08	9,05	7,60	40,58	20,7	9,10	3,30	2,59
M	1,2	1,4	0,8	1,1	58,3	17,2	3,64	3,48	3,72	0,94	9,01	6,76	40,86	20,5	10,30	3,37	2,55

## FICHE DE PROFIL N° 11

Profil n° : 4-5-68-1

Climat : Méditerranéen aride ; environ 270 mm.

Classification : Sol isohumique, à complexe saturé, brun-rouge subtropical, sur alluvions du Quaternaire.  
Aridisol : haplargid mollic.

Site : Terrasse de l'oued Zebra ; pente de 1% ; drainage moyen ; érosion faible.

Localisation : Plaine du Zebra ; point E (34°53' N, 2°45' W) ; altitude : 105 m.

Utilisation : Céréales, jachère, pâturage.

## Description du sol :

0-26 cm : Brun (6,25 YR 5/6). Calcaire. Limoneux. Structure lamellaire sur quelques millimètres (glaçage de surface), puis nuciforme faiblement développée, puis devient progressivement polyédrique et mieux développée. Eléments coprogènes peu nombreux. Limite inférieure graduelle et ondulée.  
Echantillons : A = 1-13 cm  
B = 16-23 cm

26-40 cm : Plus rouge (5 YR 5/6). Calcaire : apparition de quelques amas friables calcaires. Argileux. La structure polyédrique s'accentue et s'affine. Eléments coprogènes peu nombreux. Bonne porosité. Limite inférieure graduelle et ondulée.  
Echantillon : C = 26-35 cm

40-60 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 5/6). Calcaire : amas friables calcaires nombreux mais souvent mal individualisés. Argileux. Structure polyédro-cubique moyenne à facettes lissées, bien développée.

Bonne porosité. Limite inférieure graduelle et ondulée.

Echantillons : D = 40-49 cm

E = 53-60 cm

Au-dessous de 60 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 5/6) puis plus rouge (3,75 YR 4/6). Calcaire : les amas friables calcaires diminuent jusqu'à 75 cm, puis redeviennent nombreux de 90 à 120 cm, puis ils rediminuent pour disparaître presque complètement vers 150 cm, profondeur à laquelle des nodules gypseux peuvent apparaître. Argileux. La structure reste polyédro-cubique à facettes lissées, bien développée ; sur-structure verticale.

Echantillons : F = 63-73 cm

G = 78-85 cm

H = 95-105 cm

I = 107-118 cm

J = 135-145 cm

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Granulométrie terre décarbonatée (%)				
			A	L	STF	SF	SG	A	L	STF	SF	SG
A	1-13	97,2	26,0	31,5	14,7	20,2	7,6	29,7	28,1	22,2	17,7	2,3
B	16-23	97,0	27,5	35,7	12,0	18,9	5,9	35,9	27,9	12,7	19,1	4,4
C	26-35	98,1	41,6	34,6	7,9	12,4	3,5	50,5	29,6	9,5	9,9	0,5
D	40-49	97,6	46,3	33,8	7,3	10,4	2,2	61,9	19,4	9,5	8,8	0,4
E	53-60	97,9	51,0	36,6	5,4	6,1	0,9	64,4	17,1	9,8	7,8	0,9
F	63-73	98,0	54,0	29,5	7,0	6,4	3,1	61,7	22,6	9,2	6,1	0,4
G	78-85	99,0	51,4	34,6	7,9	5,7	0,4	57,3	32,0	4,6	5,7	0,4
H	95-105	99,4	49,4	31,5	10,3	8,1	0,7	55,8	28,3	7,3	8,3	0,3
I	107-118	98,6	47,5	31,8	10,6	9,2	0,9	55,3	21,0	13,4	9,6	0,7
J	135-145	98,0	42,4	33,4	9,9	13,8	0,7	50,7	22,8	12,3	13,6	0,6

Ech	Calcaire (%)	pH			Sels tot. E. A. ‰	Complexe adsorbant meq/100 g					
		Eau	KCl	Sat.		Ca	Mg	Na	K	S	T
A	19,1	8,5	7,8	8,2	0,7	9,0	0,4	0,16	1,97	11,53	11,5
B	16,5	8,5	7,7	8,3	0,6	8,0	2,2	0,07	1,90	12,17	12,2
C	25,7	8,6	7,9	8,3	0,6	3,2	4,6	0,05	1,75	9,60	10,2
D	32,4	8,8	7,9	8,4	0,6	4,4	4,2	0,05	1,69	10,34	8,75
E	28,2	9,1	8,0	8,5	0,6	2,8	4,4	0,37	1,76	9,33	9,5
F	22,4	9,4	8,0	8,6	0,7	3,8	2,6	2,5	1,40	10,30	10,25
G	28,1	9,4	8,1	8,7	0,9	4,0	3,2	3,12	1,33	11,65	11,5
H	25,2	9,5	8,0	8,6	1,0	2,9	4,1	2,96	1,23	11,19	10,75
I	24,4	9,1	8,0	8,4	1,1	2,8	5,4	2,61	1,19	12,0	11,75
J	20,7	9,0	7,9	8,4	1,3	2,4	5,0	3,32	1,46	12,2	11,5

Ech.	Matières organiques (°/°°)				K <sub>2</sub> O (°/°°)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (°/°°)		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				L/T
	T	C	N	C/N	T	A	T	A	T. tot.		T. n. calc.		
									T	L	T	L	
A	19,0	11,1	1,2	9,0	5,2	1,0	1,1	0,09	4,2	1,7	5,2	2,1	0,40
B	12,5	7,3	1,0	7,3	5,1	1,0	0,8	0,08	4,2	1,8	5,0	2,15	0,43
C	8,9	5,2	0,7	7,4	7,1	1,0	0,7	0,02					
D	5,3	3,0	0,5	6,3	6,3	0,8	0,6	0,01	4,2	1,7	6,2	2,5	0,40
E	3,9	2,3	0,5	4,6	6,8	0,7	0,6	0,02					
F	3,0	1,8	0,4	4,2					4,7	1,9	6,05	2,45	0,45
G	2,0	1,1	0,3	3,7	6,6	0,8	0,6	0,01					
H	1,8	1,1	0,3	3,7	7,4	0,7	0,6	0,03	4,2	1,7	5,6	2,2	0,40
I	1,5	0,8	0,2	4,0	8,7	0,7	0,7	0,07					
J	1,3	0,7	0,2	3,5									

Stabilité structurale					Is	K (cm/h)	C.R. (%)	D. A.
Ech.	Agrégats stables — SG (%)							
	Eau	Alc.	Benz.	Moy.				
A	8,8	27,8	1,9	12,8	3,8	2,3	24,0	1,08
B	12,5	36,2	1,2	16,7	3,4	4,6	22,8	1,09
C	26,0	42,5	0,5	23,2	4,6	2,1	22,4	1,13
D	12,6	24,1	0,4	12,4	7,6	2,4	22,0	1,33
E	23,3	49,4	0,2	24,3	3,0			
F	15,3	36,1	0,15	17,2	6,3	2,1	22,8	
G	12,9	30,0	0,8	14,5	6,5	2,9	24,0	
H	16,2	27,6	1,2	15,0	6,3	4,4	23,6	
I	11,7	27,3	0,6	13,2	5,6	4,1	22,4	
J	9,5	26,6	0,9	12,3	6,3		24,0	

## FICHE DE PROFIL N° 12

*Profil n°* : 8-3-60-10*Climat* : Méditerranéen aride ; 330 mm.*Classification* : Sol isohumique, à complexe saturé, brun-rouge subtropical, sur alluvions et colluvions du Quaternaire.*Site* : Glacis polygénique, à proximité du piémont des Kebdana ; pente de 3% ; drainage bon ; érosion moyenne.

Aridisol : calciorthid mollic.

*Utilisation* : Céréales en sec, jachère, pâturage.*Localisation* : Plaine du Zebra ; point T 131 (34° 56' N, 2° 43' W) ; altitude : 128 m.*Surface* : Microrelief accentué ; cailloux assez nombreux*Description du sol :*

0-25 cm : Brun. Calcaire. Limoneux. Structure un peu lamellaire en surface, puis polyédrique à nuci-forme, puis polyédrique ; sous-structure à tendance grumeleuse ; éléments coprogènes. Limite inférieure distincte et ondulée.

Echantillons : A = 0-5 cm

B = 12-17 cm

25-45 cm : Un peu plus rouge. Calcaire ; quelques amas friables et granules calcaires. Limono-argileux ; très caillouteux. Structure polyédrique moyenne. Limite inférieure distincte et ondulée.

Echantillon : C = 32-37 cm

45-75 cm : Brun-rouge. Calcaire ; amas friables et granules calcaires nombreux, surtout vers le bas. Limono-argileux ; finement caillouteux. Structure polyédrique moyenne à fine, bien développée. Éléments coprogènes peu nombreux. Limite inférieure distincte et ondulée.

Echantillon : D = 58-63 cm

75-80 cm : Cailloutis.

80-115 cm : Brun-rouge. Calcaire ; amas friables, granules et nodules calcaires nombreux, surtout vers le haut. Limoneux ; finement caillouteux. Structure polyédrique moyenne à fine, bien développée. Limite inférieure distincte et ondulée.

Echantillons : E = 85-95 cm

F = 105-115 cm

Au-dessous de 115 cm : Brun-rouge. Calcaire ; amas friables et nodules calcaires. Limoneux ; très caillouteux. Structure polyédrique fine.

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)				
			A	L	STF	SF	SG
A	0- 5	74,0	18,7	30,2	12,9	19,9	18,3
B	12- 17	89,6	22,5	30,8	10,8	17,9	18,0
C	32- 37	56,8	33,8	26,2	9,3	15,9	14,8
D	58- 63	75,0	28,3	28,8	7,5	14,0	21,4
E	85- 95	58,3	22,0	25,8	5,2	22,6	24,4
F	105-115	72,2	19,0	25,4	5,2	22,9	27,5

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Matières organiques (‰)			
		Eau	KCl		T	C	N	C/N
A	16,5	8,85	7,6	0,75	31,3	18,2	1,8	10,0
B	15,7	8,55	7,5	0,9	26,4	15,3	1,6	9,6
C	21,3	8,75	7,5	0,65	12,9	7,5	0,9	8,6
D	38,1	8,9	7,7	0,65	5,3	3,1	0,5	6,0
E	40,5	9,0	7,9	0,65	2,5	1,4		
F	34,8	9,25	8,0	0,7	1,8	1,0		

Ech.	K <sub>2</sub> O (‰)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (‰)		Stabilité structurale					C.R. (%)
	T	A	T	A	Agrégats stables — SG (%)				Is	
					Eau	Alc.	Benz.	Moy.		
A	8,1	1,02	1,04	0,15	5,6	20,8	2,6	9,7	3,4	22,0
B	6,7	0,72	0,8	0,1	6,5	27,7	2,6	12,3	3,1	22,4
C	5,2	0,3	0,8	0,05						21,0
D	4,0	0,2	2,08	0,05	8,8	30,8	4,2	14,6	3,4	19,2
E										18,5
F					22,5	26,1	9,6	19,4	1,2	18,0



## FICHE DE PROFIL N° 13

Profil n° : 21-3-60-27

Climat : Méditerranéen aride ; environ 300 mm.

Classification : Sol isohumique, à complexe saturé, brun-rouge subtropical, sur alluvions et colluvions du Quaternaire.

Site : Glacis ; pente de 1,5 % ; drainage bon ; érosion faible.

Aridisol : calciorthid mollic.

Utilisation : Céréales en sec, jachère, pâturage.

Localisation : Plaine du Zebra ; point T 245 (34° 55' N, 2° 44' W) ; altitude : 111 m.

Surface : Cailloux assez nombreux.

## Description du sol :

0-27 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 4/6), un peu plus clair en profondeur. Calcaire. Limoneux. Structure lamellaire en surface, sur 1 cm, puis polyédrique à nuciforme, puis polyédrique ; sous-structure à tendance grumeleuse ; éléments coprogènes. Limite inférieure distincte et ondulée.

Echantillons : A = 0-5 cm

B = 10-15 cm

27-42 cm : Rouge-jaunâtre plus clair (5 YR 5/6). Calcaire : quelques amas friables calcaires à la base. Devient progressivement plus argileux ; très caillouteux. Structure polyédrique moyenne. Limite inférieure distincte et ondulée.

Echantillons : C = 28-33 cm

D = 37-42 cm

42-67 cm : Un peu plus rouge (2,5 à 5 YR 5/6). Calcaire ; amas friables et granules calcaires assez nombreux ; la taille des amas friables grossit vers le bas. Argileux ; finement caillouteux. Structure polyédrique moyenne à fine ; les facettes des agrégats sont souvent lissées ; éléments coprogènes. Limite inférieure abrupte et ondulée.

Echantillon : E = 50-60 cm

67-69 cm : Cailloutis.

Au-dessous de 69 cm : Rouge à rouge-jaunâtre (2,5 à 5 YR 5/6). Calcaire ; amas friables et granules calcaires nombreux, moins nombreux en profondeur. Limoneux ; finement caillouteux. Structure polyédrique fine à facettes lissées.

Echantillons : F = 75-85 cm

G = 95-105 cm

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. ‰
			A	L	STF	SF	SG		Eau	KCl	
A	0- 5	93,4	22,7	39,3	12,0	19,1	6,9	14,0	8,5	7,6	1,15
B	10- 15	93,7	22,5	36,8	16,4	17,6	6,7	14,0	8,7	7,7	0,9
C	28- 33	81,9	24,5	34,5	12,4	22,2	6,4	14,5	8,9	7,6	0,6
D	37- 42	80,7	37,8	27,8	10,9	16,9	6,6	18,3	8,95	7,6	0,75
E	50- 60	81,7	41,8	32,3	6,4	13,1	6,4	34,8	9,05	7,8	1,5
F	75- 85	60,7	32,6	33,8	5,4	13,8	14,4	46,5	8,8	8,1	2,7
G	95-105	84,4	28,2	35,3	6,3	14,5	15,7	42,4	8,7	8,2	3,2

Ech.	Matières organiques (‰)				Stabilité structurale					C. R. (%)
					Agrégats stables — SG (%)					
	T	C	N	C/N	Eau	Alc.	Benz.	Moy.	Is	
A	24,9	14,4	1,2	12,0	5,2	18,4	2,1	8,6	6,2	25,6
B	17,5	10,2	1,6	6,3	3,8	17,3	1,1	7,4	6,2	24,0
C	9,3	5,4	0,7	7,4	13,7	44,2	0,8	19,6	2,8	21,8
D	5,3	3,0	0,5	5,7						
E	4,0	2,4			13,9	33,8	1,1	16,2	3,9	20,2
F	2,4	1,3								
G	2,1	1,2			28,9	37,5	5,5	24,0	1,8	19,2

Ech.	K <sub>2</sub> O (‰)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (‰)		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				L/T
					T. tot.		T. n. calc.		
	T	A	T	A					
					T	L	T	L	
A	9,6	0,60	1,44	0,04	4,88	2,42	5,67	2,81	0,50
B	9,2	0,56	1,04	0,04	4,92	2,38	5,72	2,77	0,48
C	10,0	0,44	0,80	0,08	4,12	2,32	4,82	2,71	0,56
D	8,3	0,30	1,04	0,06	4,60	2,24	5,63	2,74	0,49
E					3,80	1,62	5,83	2,48	0,43
F					2,70	1,00	5,05	1,87	0,37
G					2,91	1,11	5,04	1,93	0,38

## FICHE DE PROFIL N° 14

*Profil n°* : BOU-RI-V*Climat* : Méditerranéen aride ; 310 mm.*Classification* : Sol isohumique, à complexe saturé, brun-rouge subtropical, sur colluvions du Quaternaire.  
Aridisol : calciorthid mollic.*Site* : Glacis ; pente de 1,2% ; drainage moyen ; érosion faible.*Localisation* : Plaine des Triffa ; S.E.H.A. de Boughriba ;  
(34° 55' N, 2° 30' W) ; altitude : 88 m.*Utilisation* : Cultures irriguées (depuis 10 ans).*Description du sol :*

0 à 10-12 cm : Brun-rouge (5 YR 5/4). Calcaire. Limoneux. Structure polyédrique peu développée ; sous-structure grumeleuse peu développée. Limite inférieure abrupte et ondulée.  
Echantillon : A = 2-7 cm.

10-12 à 25-30 cm : Semelle de labour et d'irrigation : brun-rouge plus foncé (5 YR 4/4). Calcaire. Limoneux. Structure continue ; sous-structure polyédrique peu développée ; éléments coprogènes peu nombreux ; compacité forte ; porosité faible. Limite inférieure distincte et ondulée.  
Echantillons : B = 10-14 cm  
C = 15-20 cm

25-30 à 45 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 4,5/6). Calcaire. Limono-argileux. Structure polyédrique moyenne bien développée ; éléments coprogènes nombreux. Limite inférieure graduelle et ondulée.  
Echantillon : D = 25-31 cm.

45-100 cm : Jaune-rougeâtre (6,25 YR 6/6 à 7,5 YR 6,5/6). Calcaire ; amas friables et granules calcaires nombreux. Limono-argileux à argileux. Structure polyédrique fine à facettes lissées. Limite inférieure diffuse.  
Echantillons : E = 45-50 cm  
F = 60-70 cm  
G = 85-95 cm

Au-dessous de 100 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 4/6). Calcaire ; diminution progressive de la densité des amas friables et granules calcaires. Moins argileux. Structure polyédrique fine à facettes lissées.  
Echantillon : H = 115-125 cm.

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				L/T
			A	L	STF	SF	SG	T. tot.		T. n. calc.		
								T	L	T	L	
A	2- 7	97,6	25,6	23,0	18,9	27,0	5,5	4,16	1,86	5,09	2,28	0,45
B	10- 14	97,9	24,7	25,4	18,3	26,1	5,5					
C	15- 20	97,7	26,2	24,9	17,9	26,3	4,7	3,92	1,92	4,69	2,30	0,49
D	25- 31	98,9	30,2	24,1	15,4	25,9	4,4	3,90	1,88	4,84	2,34	0,48
E	45- 50	98,1	32,4	24,5	15,8	22,3	5,0	3,52	1,62	4,80	2,21	0,46
F	60- 70	97,7	34,4	28,9	13,5	16,8	6,4	2,52	1,00	5,02	1,99	0,40
G	85- 95	91,9	41,5	30,7	10,8	13,7	3,5	2,62	1,14	4,61	2,00	0,43
H	115-125	88,5	22,4	55,8	9,6	11,0	1,2	2,64	1,26	4,42	2,10	0,47

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Complexe adsorbant meq/100 g					
		Eau	KCl		Ca	Mg	Na	K	S	T
A	18,3	8,35	7,30	3,30	8,0	4,0	1,4	0,6	14	14
B	16,5	8,40	7,35	1,40						
C	16,5	8,50	7,15	1,50	10,8	4,0	0,8	0,4	16	16
D	19,5	8,50	7,10	1,40	11,6	2,0	1,0	0,4	15	15
E	26,6	8,40	7,20	1,85						
F	49,8	8,50	7,20	1,90	6,1	4,0	0,7	0,15	11	11
G	43,1	8,60	7,30	1,05	6,3	4,0	0,5	0,20	11	11
H	40,2	8,85	7,80	0,80	4,1	8,0	0,6	0,25	13	13

Ech.	Matières organiques (‰)				Stabilité structurale					K (cm/h)	C. R. (%)	D.A.
	T	C	N	C/N	Agrégats stables — SG (%)				Is			
					Eau	Alc.	Benz.	Moy.				
A	19,1	11,1	1,20	9,3	2,3	8,9	1,0	4,1	11,2	5,4	19,6	1,1
B	17,9	10,4	1,27	8,2	2,0	7,8	1,0	3,5	7,6	3,4	19,6	1,1
C	15,8	9,2	1,32	7,0	3,5	19,2	1,1	7,9	6,5	3,4	19,6	
D	11,0	6,3	1,15	5,4	4,5	30,7	0,9	12,0	4,5	6,4	20,0	1,1
E	10,6	6,2	0,76	8,2							20,8	1,15
F	4,7	2,7	0,45	6,0							23,2	1,2
G	2,9	1,7									21,6	
H	1,9	1,1									21,2	1,52

## FICHE DE PROFIL N° 15

*Profil n°* : 14-6-60-2

*Climat* : Méditerranéen aride ; environ 300 mm.

*Classification* : Sol isohumique, à complexe saturé, brun-rouge subtropical, sur alluvions et colluvions du Quaternaire.  
Aridisol : calciorthid mollic.

*Site* : Glacis ; pente de 2% ; drainage bon ; érosion faible.

*Utilisation* : Céréales en sec, jachère, pâturage.

*Localisation* : Plaine du Zebra ; point T 431 (34° 55' N, 2° 44' W) ; altitude : 120 m.

*Surface* : Cailloux assez nombreux.

## Description du sol :

0-20 cm : Brun-rougeâtre (5 YR 4/4). Peu calcaire. Limoneux ; un peu caillouteux. Structure nuciforme à tendance polyédrique ; sous-structure grumeleuse assez nette. Limite inférieure abrupte et ondulée.

Echantillons : A = 0-5 cm  
B = 10-15 cm

20-25 cm : Cailloutis.

25-32 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 4/6). Calcaire. Plus argileux ; finement caillouteux. Structure polyédrique moyenne ; éléments coprogènes peu nombreux. Limite inférieure distincte et ondulée.

Echantillon : C = 25-30 cm

32-130 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 4/6). Calcaire ; amas friables et granules calcaires de plus en plus nombreux vers le bas ; la densité rediminue à partir de 100 cm, mais des nodules calcaires s. s. apparaissent. Limono-argileux ; finement caillouteux. Structure polyédro-cubique moyenne à fine, à facettes lissées ; éléments coprogènes peu nombreux. Limite inférieure distincte et ondulée.

Echantillons : D = 45-50 cm  
E = 65-72 cm  
F = 90-98 cm  
G = 110-120 cm

Au-dessous de 130 cm : Cailloutis. Amas friables, granules et nodules calcaires.

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Calcaire (%)	pH		Sels tot. E.A. (‰)
			A	L	STF	SF	SG		Eau	KCl	
A	0- 5	81,2	12,4	25,8	14,8	27,8	19,2	5,3	8,8	7,5	0,65
B	10- 15	85,0	21,2	27,0	14,9	26,1	10,8	5,7	8,7	7,4	1,05
C	25- 30	85,8	27,8	32,1	13,8	16,0	10,3	13,5	8,6	7,5	1,0
D	45- 50	93,4	39,8	23,0	7,5	15,5	14,2	25,3	8,6	7,6	0,95
E	65- 72	96,5	35,2	26,9	13,3	11,7	12,9	33,4	8,7	7,7	1,6
F	90- 98	97,9	32,3	31,2	16,5	12,5	7,5	33,4	8,8	7,8	1,75
G	110-120	89,3	34,3	27,1	10,4	16,1	12,1	21,4	9,0	7,9	1,7

Ech.	Matières organiques (‰)				Stabilité structurale				Is	C.R. (%)
					Agrégats stables — SG (%)					
	T	C	N	C/N	Eau	Alc.	Benz.	Moy.		
A	17,0	9,9	1,3	7,4	3,3	12,4	1,5	5,7	5,2	20,0
B	10,5	6,1	0,8	8,0	13,2	45,3	0,9	19,7	2,4	23,8
C	7,3	4,3	0,6	7,3						22,4
D	4,8	2,8	0,3	8,2						22,2
E	2,2	1,2			17,4	34,5	1,0	17,7	2,9	
F	1,5	0,9								
G	1,5	0,6			33,1	42,6	2,3	26,0	1,9	

Ech.	K <sub>2</sub> O (‰)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (‰)		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				L/T
					T. tot.		T. n. calc.		
	T	A	T	A	T	L	T	L	
A	9,2	0,56	1,36	0,39	5,36	2,80	5,67	2,96	0,52
B	9,9	0,87	0,68	0,06	5,90	3,00	6,26	3,18	0,51
C	6,7	0,54	0,68	0,03	5,52	2,50	6,38	2,89	0,45
D	12,2	0,34	0,86	0,04	4,80	2,06	6,43	2,76	0,43
E					4,16	1,86	6,25	2,79	0,45
F					4,04	1,80	6,07	2,70	0,45
G					4,76	2,18	6,06	2,77	0,45

## FICHE DE PROFIL N° 16

*Profil n°* : 2-5-68-1*Climat* : Méditerranéen semi-aride : environ 350 mm.*Classification* : Sol isohumique, à complexe saturé, brun-rouge subtropical, sur colluvions du Quaternaire.  
Aridisol : calciorthid xerollic.*Site* : Glacis ; pente de 1% ; drainage moyen ; érosion faible.*Localisation* : Plaine des Triffa ; point 119 a (34° 56' N, 2° 24' W) ; altitude : 100 m.*Utilisation* : Plantation d'orangers ; cultures maraîchères irriguées en intercalaire.*Description du sol* :

0-10 cm : Brun-rouge (2,5 à 5 YR 4/4). Peu calcaire. Limono-argileux. Structure modifiée par l'irrigation : massive en surface, polyédrique et grumeleuse à la base ; éléments coprogènes nombreux. Limite inférieure distincte et régulière.

Echantillon : A = 0-10 cm

10-45 cm : Brun-rouge (2,5 YR 4/4), devenant plus clair en profondeur (2,5 YR 4/6). De plus en plus calcaire vers le bas. Argileux. Structure polyédrique fine, un peu détruite vers le haut (semelle de labour) ; éléments grenus et grumeleux ; vers le bas, développement d'une sur-structure verticale. Limite inférieure graduelle et ondulée.

Echantillons : B = 10-19 cm

C = 24-32 cm

45-105 cm : Brun-rouge (2,5 YR 4/6). Calcaire. Gros amas friables et granules calcaires, arrondis ou allongés verticalement ; amas plus petits au sommet. Argileux. Structure polyédrique moyenne ; sur-structure prismatique ; agrégats compacts, à faces lissées. Porosité fine faible. Taches noires sur les agrégats. Limite inférieure distincte et régulière.

Echantillons : D = 47- 55 cm

E = 72- 86 cm

F = 98-105 cm

G = amas friables calcaires.

Au-dessous de 105 cm : Brun-rouge (2,5 YR 5/6). Calcaire. Amas friables calcaires plus petits ; granules calcaires plus nombreux. Argileux. Structure polyédrique fine à faces lissées. Enduits et taches noires. Porosité fine faible.

Echantillons : H = 128-140 cm

I = 158-170 cm

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Granulométrie terre décarbonatée (%)				
			A	L	STF	SF	SG	A	L	STF	SF	SG
A	0- 10	98,5	34,3	20,4	19,6	21,8	3,9	29,0	26,2	14,8	26,2	3,8
B	10- 19	95,0	44,4	21,8	11,9	19,2	2,7	40,7	23,6	12,9	20,3	2,5
C	24- 32	96,0	51,1	22,9	8,7	14,0	3,3	48,1	24,7	9,0	14,4	3,8
D	47- 55	96,0	52,4	22,1	6,8	13,3	5,4	60,8	12,6	9,0	14,6	3,0
E	72- 86	90,0	50,8	20,2	12,0	9,4	7,6	59,6	14,8	10,9	12,4	2,3
F	98-105	89,5	47,6	25,8	10,8	8,5	7,3	56,9	15,6	10,5	9,9	7,1
H	128-140	88,0	47,0	29,7	9,6	9,5	4,2	48,7	26,1	7,1	12,2	5,9
I	158-170	87,6	46,4	34,7	6,4	8,1	4,4	51,6	24,0	8,9	11,3	4,2

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Complexe adsorbant meq/100 g						Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				L/T
		Eau	KCl		Ca	Mg	Na	K	S	T	T. tot.		T. n. calc.		
											T	L	T	L	
A	3,6	8,3	7,6	5,2	19,2	9,4	1,12	2,75	32,47	31,0	4,6	2,4	4,8	2,5	0,52
B	5,2	8,15	7,5	5,0	19,5	10,0	1,5	2,6	33,6	33,2					
C	12,2	8,0	7,2	0,6	20,8	8,0	0,21	1,25	30,26	29,2	5,0	2,6	5,7	2,95	0,52
D	15,4	8,0	7,6	0,8	22,4	8,5	0,35	0,7	31,95	30,5	4,9	2,4	5,8	2,85	0,49
E	26,9	8,0	7,6	0,8	16,8	8,8	1,21	0,71	27,52	28,2	4,6	2,3	6,3	3,15	0,50
F	27,7	8,0	7,6	0,8	13,4	9,9	1,19	0,81	25,30	23,7					
G	36,7														
H	31,3	8,3	7,7	0,8	11,6	11,2	0,96	0,88	24,64	23,2	3,9	1,7	5,7	2,5	0,44
I	31,3	8,3	7,8	0,8	9,4	4,6	1,09	1,08	16,17	14,7					

Matières organiques (‰)					Matières humiques en C (%)							
Ech.					AH							
	T	C	N	C/N	T	AF					AF/AH	Ch/Ct
							T	B (%)	I (%)	G (%)		
A	23,6	13,7	1,4	9,8	2,18	0,69	1,49	29,5	14,5	56,0	0,46	0,16
B	11,9	6,9	0,8	8,6	1,17	0,23	0,94	20,5	14,2	65,3	0,24	0,17
C	6,5	3,8	0,6	6,3	0,51	0,21	0,30	26,0	11,0	63,0	0,70	0,13
D	3,6	2,1	0,4	5,2	0,24	0,11	0,13	31,0	10,5	58,5	0,85	0,11
E	3,1	1,8	0,3	6,0								
F	1,5	0,9	0,2	4,5								
H	1,5	0,9	0,2	4,5								
I	1,2	0,7	0,2	3,5								



*Profil n° : I-5-68-3*

**Classification :** Sol isohumique, à complexe saturé, châtain-rouge subtropical, sur colluvions du Quaternaire.  
**Aridisol :** haplargid mollic.

*Localisation* : Plaine du Zebra ; point 1001 (34° 57' N, 2° 43' W) ; altitude 150 m.

*Climat* : Méditerranéen aride ; environ 330 mm.

*Site* : Piémont des Kibdana ; cône de déjection ; pente de 10% ; drainage bon ; érosion moyenne.

*Utilisation* : Céréales en sec, jachère, pâturage.

*Surface* : Caillouteux.

*Description du sol :*

0-13 cm : Brun-rouge assez foncé (5 YR 3,5/4). Légèrement calcaire. Limoneux ; caillouteux. Structure polyédrique à nuciforme et sous-structure grumeleuse assez bien développées ; léger compactage superficiel ; bonne porosité. Limite inférieure distincte et ondulée.

Echantillon : A = 0-10 cm.

13-35 cm : Brun-rouge (2,5 YR 4/4). Très peu calcaire. Limono-argileux ; très caillouteux. Structure polyédrique à grumeleuse, moyenne à fine. Limite inférieure distincte et ondulée.

Echantillon : B = 18-27 cm.

35-53 cm : Rouge (2,5 YR 4/6). Très peu calcaire. Très argileux ; peu caillouteux. Structure polyédrique grossière à tendance prismatique ; sous-structure polyédrique fine, un peu aplatie, à faces lissées. Limite inférieure distincte et ondulée.

Echantillon : C = 40-50 cm.

53-80 cm : Rouge plus clair (2,5 YR 4/7). Calcaire : amas friables calcaires, de plus en plus nombreux vers le bas. Argileux ; un peu caillouteux. Structure polyédrique moyenne. Limite inférieure distincte et ondulée.

Echantillon : D = 58-65 cm.

80-100 cm : Rouge (2,5 YR 5/6). Très calcaire : amas friables, granuleux et nodules calcaires nombreux. Limono-argileux ; un peu caillouteux. Structure polyédrique moyenne à fine. Latéralement, cet horizon se transforme en encroûtement calcaire. Limite inférieure distincte et ondulée.

Echantillons : E = 85-95 cm

F = granules et nodules calcaires

G = encroûtement (passage latéral)

H = granules et nodules de l'encroûtement

Au-dessous de 100 cm : Cailloutis limoneux ; amas friables, granules et nodules calcaires.

[illegible]

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. ‰	Complexe adsorbant meq/100 g					
		Eau	KCl		Ca	Mg	Na	K	S	T
A	1,8	8,5	7,7	0,3	13,5	4,0	0,1	1,06	18,66	15,5
B	0,4	8,6	7,4	0,3	20,4	6,2	0,9	0,83	28,33	30,5
C	0,4	9,3	7,6	1,0	23,8	12,6	2,25	0,6	39,25	39,0
D	8,9	9,2	7,5	1,0	21,8	8,0	3,38	0,5	33,68	33,0
E	24,8	9,5	7,9	5,3	3,2	7,4	2,56	0,38	13,54	13,5
F	55,6			5,1						
G	53,7									
H	62,1									

Ech.	Matières organiques (‰)				Matières humiques en C (%)							
	T	C	N	C/N	T	AF	AH				AF/AH	Ch/Ct
							T	B (%)	I (%)	G (%)		
A	26,8	15,6	1,5	10,4	3,71	0,49	3,22	33,5	17,0	49,5	0,15	0,24
B	13,4	7,8	0,8	9,7								
C	9,3	5,4	0,7	7,7	1,38	0,39	0,99	39,5	8,5	52,0	0,39	0,26
D	7,9	4,6	0,6	7,7								
E	2,0	1,2	0,3	4,0								

Ech.	K <sub>2</sub> O (‰)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (‰)		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				L/T
					T. tot.		T. n. calc.		
	T	A	T	A	T	L	T	L	
A	9,6	0,8	1,3	0,33	5,6	3,0	5,7	3,05	0,54
C	12,0		1,5	0,32	6,6	4,0			0,61
D					6,0	3,5	6,6	3,95	0,58
E					4,6	2,2	6,1	2,9	0,48

## FICHE DE PROFIL N° 18

*Profil n°* : ABO-31

*Climat* : Méditerranéen semi-aride ; environ 350 mm.

*Classification* : Sol isohumique, à complexe saturé, châtain-rouge subtropical, sur colluvions du Quaternaire.  
Alfisol : palexeralf mollic.

*Site* : Glacis quaternaire polygénique ; pente de 1% ; drainage moyen ; érosion faible.

*Localisation* : Plaine des Triffa ; S.E.H.A. de Slimania  
(34° 57' N, 2° 22' W) ; altitude 110 m.

*Utilisation* : Station expérimentale : cultures irriguées. Le profil a été observé avant irrigation, après plusieurs années de jachère et de céréales en sec.

*Description du sol :*

0-65 cm : Brun-rouge foncé (2,5 YR 3/4), puis rouge foncé (2,5 YR - 10 R 3/6). Non calcaire. Argileux : de plus en plus argileux vers le bas ; un peu caillouteux (quartzites et pélites) sur les 10 premiers centimètres. Structure polyédrique large à tendance nuciforme en surface ; sous-structure grumeleuse moyennement développée ; compacité élevée à l'état sec ; puis la structure devient progressivement prismatique grossière à sous-structure polyédrique fine à faces lissées ; éléments coprogènes nombreux (la structure prismatique ne se développe qu'à l'état sec). Limite inférieure graduelle et ondulée.

Echantillons : A = 0-5 cm

B = 10-15 cm

C = 20-25 cm

D = 30-35 cm

E = 40-50 cm

65-107 cm : Rouge (2,5 YR - 10 R 4/6). Calcaire ; amas friables calcaires bien individualisés mais peu nombreux ; ces amas enveloppent des granules calcaires. Argileux. Structure polyédrique grossière à moyenne, à faces lissées : sur-structure verticale. Limite inférieure distincte et régulière.

Echantillons : F = 65-75 cm

G = 90-100 cm

107-150 cm : Rouge (2,5 YR - 10 R 4/7). Très calcaire : amas friables, granules et nodules calcaires nombreux. Moins argileux. Structure polyédrique moyenne. Limite inférieure graduelle et ondulée.

Echantillon : H = 115-125 cm.

150-175 cm : Rouge (2,5 YR - 10 R 5/6). Calcaire : gros amas friables, granules, nodules et rognons calcaires alignés et formant de grandes « traînées » verticales. Limono-argileux. Structure polyédrique moyenne à fine.

Echantillon : I = 160-170 cm.

Au-dessous de 175 cm : Apparition de quelques cailloux : pélites et calcaires.

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Granulométrie terre décarbonatée (%)				
			A	L	STF	SF	SG	A	L	STF	SF	SG
A	0- 5	79,9	38,4	20,4	19,0	15,5	6,7					
B	10- 15	90,5	43,6	16,7	16,0	15,6	8,1					
C	20- 25	87,5	42,3	17,8	17,1	16,3	6,5					
D	30- 35	99,6	58,4	13,1	11,6	11,9	5,0					
E	40- 50	99,3	66,2	11,4	8,4	9,5	4,5					
F	65- 75	95,8	67,1	10,3	7,5	8,3	6,8	78,0	5,9	7,0	5,9	3,2
G	90-100	92,0	68,3	7,9	7,3	7,5	9,0	80,0	6,2	6,2	4,6	3,0
H	115-125	68,3	50,4	19,5	9,1	7,5	13,5	72,2	9,6	7,2	6,5	4,5
I	160-170	59,0	39,7	17,9	11,4	9,5	21,5	65,9	12,7	8,5	7,7	5,2

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Complexe adsorbant meq/100 g					
		Eau	KCl		Ca	Mg	Na	K	S	T
A	0,2	8,2	7,05	0,65	19,2	8,8	1,0	0,98	29,98	30,5
B	0,0	7,8	6,4	0,45						
C	0,0	7,85	6,4	0,4						
D	0,0	8,0	6,5	0,4	17,6	11,8	0,86	2,81	33,07	33,0
E	0,7	8,35	7,0	0,65	24,5	12,4	0,75	2,6	40,25	39,5
F	8,1	8,7	7,35	0,6	18,8	12,4	0,96	2,25	34,41	33,75
G	16,4	8,7	7,45	0,65	16,2	14,6	1,1	2,44	34,34	34,0
H	40,7	8,95	7,7	0,75	12,4	4,2	0,75	1,31	18,66	17,25
I	35,8	9,1	7,9	0,80						

[illegible]

## FICHE DE PROFIL N° 19

Profil n° : ABO-20

Climat : Méditerranéen semi-aride ; environ 350 mm.

Classification : Sol isohumique, à complexe saturé, châtain-rouge subtropical, sur colluvions du Quaternaire. Alfisol : palexeralf mollic.

Site : Glacis quaternaire polygénique ; pente de 1% ; drainage moyen ; érosion faible.

Localisation : Plaine des Triffa ; S.E.H.A. de Slimania (34° 57' N, 2° 22' W) ; altitude : 110 m.

Utilisation : Station expérimentale : cultures irriguées. L. profil a été observé avant irrigation, après plusieurs années de jachère et de céréales en sec.

## Description du sol :

0-62 cm : Brun-rouge foncé (5 YR 3/6), devenant rapidement rouge foncé (2,5 YR 3/6) puis rouge (2,5 YR - 10 R 4/6). Non calcaire. Argileux : de plus en plus argileux vers le bas. En surface, structure polyédrique large à tendance nuciforme et à sous-structure grumeleuse moyennement développée ; compacité élevée à l'état sec ; puis la structure devient progressivement prismatique grossière à sous-structure polyédrique fine (la structure prismatique ne se développe qu'à l'état sec). Limite inférieure distincte et ondulée.

Echantillons : A = 0-5 cm

B = 10-15 cm

C = 20-25 cm

D = 30-35 cm

E = 40-48 cm

F = 50-60 cm

62-110 cm : Rouge (2,5 YR - 10 R 4,5/8). Calcaire : amas friables, granules et nodules calcaires nombreux. Moins argileux. Structure polyédrique moyenne bien développée. Limite inférieure graduelle et ondulée.

Echantillons : G = 75-85 cm

H = 95-105 cm

110-175 cm : Rouge (2,5 YR - 10 R 5/6). Calcaire : gros amas friables, granules, nodules et rognons calcaires alignés et formant de grandes « traînées » verticales. Limono-argileux. Structure polyédrique moyenne à fine.

Echantillons : I = 110-120 cm

J = 140-150 cm

K = 160-170 cm

Au-dessous de 175 cm : Apparition de cailloux nombreux : pérites et calcaires.

Ech.	Prof. (cm)	T.F. (%)	Granulométrie (%)					Granulométrie terre décarbonatée (%)				
			A	L	STF	SF	SG	A	L	STF	SF	SG
A	0-5	99,6	48,8	24,1	12,2	10,4	4,5					
B	10-15	99,1	44,4	25,2	13,5	11,9	5,0					
C	20-25	99,7	49,3	20,9	13,7	11,4	4,7					
D	30-35	99,0	50,2	20,6	12,8	11,0	5,4					
E	40-48	100,0	61,1	16,2	9,1	9,3	4,3					
F	50-60	100,0	69,2	13,1	6,2	7,7	3,8					
G	75-85	79,5	51,5	25,6	4,9	6,2	11,8	84,7	5,4	4,5	3,9	1,5
H	95-105	70,8	41,4	28,2	8,1	7,6	14,7	75,3	12,9	5,6	4,3	1,9
I	110-120	65,7	38,2	26,6	10,4	7,9	16,9	69,3	13,2	7,5	6,5	3,5
J	140-150	51,0	31,0	20,5	12,6	12,3	23,6	64,3	11,5	10,2	8,7	5,3
K	160-170	50,0	27,3	12,0	11,1	17,9	31,7	60,7	11,2	11,4	10,5	6,2

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E.A. (‰)	Complexe adsorbant meq/100 g					
		Eau	KCl		Ca	Mg	Na	K	S	T
A	0,2	8,25	7,0	0,7						
B	0,1	8,2	6,9	0,65	21,0	6,4	1,95	2,75	32,1	30,5
C	0,1	8,2	6,9	0,8						
D	0,2	8,3	7,0	0,75						
E	0,6	8,5	7,1	0,75	25,4	9,6	1,62	1,87	38,49	39,0
F	1,2	8,5	7,1	0,75						
G	38,5	8,9	7,5	0,9	18,6	9,8	1,24	0,95	30,59	29,5
H	45,7	9,0	7,7	1,05	17,2	5,84	1,03	0,66	24,75	24,0
I	45,7	9,1	7,8	0,9						
J	34,5	8,7	7,7	0,85	12,8	9,0	1,08	0,74	23,62	23,5
K	16,4	9,15	7,65	0,9						

Ech.	Matières organiques (‰)				Matières humiques en C (%)						
					T	AF	AH				Ch/Ct
	T	C	N	C/N			T	B (%)	I (%)	G (%)	
A	20,5	11,9	1,0	11,9							
B	16,4	9,5	1,1	8,6	1,83	0,44	1,38	16,2	10,8	73,6	0,32
C	15,8	9,2	1,0	8,8							
D	13,0	7,5									
E	10,0	5,8	0,8	7,2	0,82	0,24	0,58	26,4	17,6	56,0	0,15
F	7,6	4,4	0,6	6,9							
G	3,8	2,2	0,5	4,6							
H	2,6	1,5	0,3	4,7							
I	2,0	1,2									
J	1,2	0,7									
K	0,9	0,5	0,2	3,1							

Ech.	K <sub>2</sub> O (‰)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (‰)		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				Stabilité structurale					K (cm/h)	C.R. (%)	D.A.	
					T. tot.		T. n. calc.		Agrég. stables — SG (%)				Is				
	T	A	T	A	T	L	T	L	L/T	Eau	Alc.	Benz.					Moy.
A	1,4	0,8	0,7	0,17						3,6	27,6	1,2	10,8	5,5	9,21	20,4	1,2
B	1,3	0,3			6,4	3,7			0,58	5,3	28,2	0,6	11,4	5,0	7,46	22,0	1,3
C	1,1	0,5	0,3	0,17						4,3	24,9	0,3	9,8	6,1	7,62	22,0	
D										3,1	27,5	0,4	10,3	5,6	8,30	22,4	1,3
E	1,3	0,2	0,7	0,15	6,8	4,0			0,59								
G					4,7	2,4	7,6	3,9	0,51							22,8	1,4
H					3,2	1,7	5,9	3,1	0,53							18,8	1,55
I					2,7	1,4	5,0	2,6	0,52								

## FICHE DE PROFIL N° 20

Profil n° : M-13-6-63-7

Climat : Méditerranéen semi-aride ; environ 420 mm.

Classification : Sol isohumique, à complexe saturé, châtain-rouge subtropical, sur colluvions du Quaternaire.  
Mollisol : palexeroll typic.

Site : Glacis ; pente de 1% ; drainage bon ; érosion faible.

Utilisation : Céréales en sec, jachère, pâturage.

Localisation : Plaine des Triffa ; point A 26 (35° 0' N,  
2° 10' W) ; altitude : 130 m.

## Description du sol :

0-50 cm : Brun-rouge foncé, s'éclaircissant peu à peu vers le bas. Non calcaire. Limono-argilo-sableux, devenant progressivement limono-argileux. Structure polyédrique à nuciforme bien développée, devenant polyédrique vers le bas ; sous-structure grumeleuse et grenue, bien développée entre 10 et 30 cm ; vers le bas la sous-structure devient progressivement plus anguleuse et vers le haut la compacité augmente, une sur-structure prismatique large se développant à l'état sec. Eléments coprogènes nombreux. Limite inférieure graduelle et ondulée.

Echantillons : A = 0-5 cm  
B = 10-15 cm  
C = 30-35 cm

50-90 cm : Eclaircissement et rubéfaction accentuée. Non calcaire. De plus en plus argileux. Structure poly-

édrique fine, à tendance aplatie, en petites écailles, à facettes très lissées ; sur-structure prismatique, très développée à l'état sec, à faces lissées ; taches noires de matière organique sur les faces des agrégats ; les racines pénètrent difficilement les agrégats prismatiques ; éléments coprogènes moins nombreux. Limite inférieure graduelle.  
Echantillon : D = 60-70 cm.

90-105 cm : Apparition du calcaire, sous forme diffuse et d'amas friables. Limite inférieure graduelle.  
Echantillon : E = 90-100 cm.

Au-dessous de 105 cm : Rouge assez clair. Calcaire ; gros amas friables, granules et nodules calcaires. Fortement argileux. Structure polyédrique moyenne à fine.

Echantillon : F = 110-120 cm.

Ech.	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				L/T
		A	L	STF	SF	SG	T. tot.		T. n. calc.		
							T	L	T	L	
A	0- 5	29,6	14,7	8,7	31,2	15,8	4,56	2,84			0,62
B	10- 15	30,3	14,0	9,7	30,0	16,0	4,32	2,88			0,67
C	30- 35	39,0	14,8	9,0	25,4	11,8	4,92	3,44			0,70
D	60- 70	46,3	8,0	7,8	27,5	10,4	5,08	3,18			0,63
E	90-100	57,5	9,1	5,9	17,6	9,9	5,60	3,56	6,01	3,82	0,64
F	110-120	59,6	10,7	4,9	14,4	10,4	5,92	3,49	6,51	3,82	0,59

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Matières organiques (‰)			
		Eau	KCl		T	C	N	C/N
A	0,2	8,45	7,25	0,6	18,7	10,8	1,1	9,8
B	0,1	8,4	7,2	0,5	17,7	10,2	1,5	6,8
C	0,1	8,55	7,15	0,5	14,6	8,4	1,1	7,6
D	0,1	8,65	7,2	0,5	5,0	2,9	0,6	4,8
E	6,8	8,95	7,6	0,6	2,6	1,5	0,4	3,7
F	9,0	8,5	8,0	0,9	2,2	1,3	0,6	2,2

## D. — Les sols à profil calcaire très différencié

Fiches  
n°

## SOLS A ENCROUTEMENT NON FEUILLETÉ.

*Aca calcaire :*

At très clair ; Bca double .....	21 - 22
At clair ; Bca double .....	23 - 24

## SOLS A CROUTE SUR ENCROUTEMENT NON FEUILLETÉ.

*Aca calcaire :*

At très clair ; Bca simple .....	25 - 26
----------------------------------	---------

*Aca non calcaire :*

At clair ; Bca double .....	27
-----------------------------	----

## SOLS A DALLE SUR ENCROUTEMENT NON FEUILLETÉ.

*Aca non calcaire :*

At sombre ; Bca double .....	28
------------------------------	----

## SOLS A DALLE SUR CROUTE SUR ENCROUTEMENT NON FEUILLETÉ.

*Aca calcaire :*

At très clair ; Bca double .....	29
----------------------------------	----

*Aca non calcaire :*

At clair ; Bca triple .....	30
-----------------------------	----



## FICHE DE PROFIL N° 21

*Profil n°* : 21-3-60-24*Climat* : Méditerranéen aride ; environ 280 mm.*Classification* : Sol isohumique, à complexe saturé, brun-rouge subtropical encroûté, sur colluvions du Quaternaire.  
Aridisol : calciorthid mollic.*Site* : Glacis; pente de 1,5%; drainage bon; érosion moyenne.*Utilisation* : Céréales en sec, jachère, pâturage.*Localisation* : Plaine du Zebra ; point T 242 (34° 55' N, 2° 45' W) ; altitude : 122 m.*Surface* : Cailloux assez nombreux.*Description du sol :*

0-20 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 4/6). Calcaire. Limoneux ; un peu caillouteux, surtout vers le bas. Structure lamellaire sur quelques millimètres (glaçage de surface), puis polyédrique à nuciforme ; sous-structure à tendance grumeleuse ; éléments coprogènes. Limite inférieure graduelle et ondulée.

Echantillons : A = 0-5 cm

B = 12-17 cm

20-45 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 4/6). Calcaire ; amas friables calcaires plus ou moins durcis, de plus en plus nombreux vers le bas. Limono-argileux ; finement caillouteux. Structure polyédrique de plus en plus fine et de mieux en mieux développée ; éléments coprogènes. Limite inférieure distincte et assez régulière.

Echantillon : C = 27-32 cm.

45-75 cm : Encroûtement calcaire nodulaire. Assez tuffeux au sommet où la sur-structure est assez nettement feuilletée. Structure polyédrique fine ; éléments coprogènes. Finement caillouteux. Limite inférieure diffuse.

Echantillons : D = 47-52 cm

E = 65-70 cm

Au-dessous de 75 cm : Rouge à rouge-jaunâtre (2,5 à 5 YR 4/6). Calcaire ; amas friables, granules et nodules calcaires, de moins en moins nombreux vers le bas, les nodules devenant plus gros. Limono-argileux ; finement caillouteux. Structure polyédrique moyenne à fine, à facettes lissées.

Echantillons : F = 85-90 cm

G = 110-120 cm

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)				
			A	L	STF	SF	SG
A	0- 5	85,1	13,3	28,8	13,8	28,9	15,2
B	12- 17	83,3	21,4	31,4	11,5	22,4	13,3
C	27- 32	85,0	34,0	29,2	8,0	18,7	10,1
D	47- 52	85,9	36,0	34,9	6,6	11,9	10,6
E	65- 70	89,8	30,9	43,9	5,4	8,6	11,2
F	85- 90	84,4	30,1	40,4	6,9	11,9	10,7
G	110-120	90,1	29,0	33,4	8,6	11,8	17,2

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Matières organiques (‰)			
		Eau	KCl		T	C	N	C/N
A	17,1	8,9	7,65	0,65	16,1	9,3	1,1	8,3
B	19,6	8,75	7,65	0,95	11,5	6,7	0,9	7,4
C	27,6	8,85	7,8	1,2	6,2	3,5	0,2	14,0
D	47,0	8,75	7,45	1,45	4,8	2,8	0,3	8,2
E	53,0	9,1	8,05	1,75	2,3	1,3		
F	45,2	9,25	8,1	2,25				
G	35,1	9,35	8,1	3,25				

Ech.	K <sub>2</sub> O (°/°°)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (°/°°)		Stabilité structurale				Is	C.R. (%)
					Agrégats stables — SG (%)					
	T	A	T	A	Eau	Alc.	Benz.	Moy.		
A	5,6	0,36	2,8	0,12	5,5	18,6	2,2	8,8	3,6	23,0
B	5,6	0,34	1,0	0,08	16,0	35,6	1,8	17,8	2,4	24,0
C	7,9	0,33	1,2	0,08	25,9	43,7	1,5	23,7	2,4	21,2
D	4,2	0,30	2,4	0,06	16,2	20,0	7,8	14,7	2,9	22,6

## FICHE DE PROFIL N° 22

Profil n° : 1-4-59-4

Climat : Méditerranéen aride ; environ 270 mm.

Classification : Sol isohumique, à complexe saturé, brun-rouge subtropical encroûté, sur colluvions du Quaternaire.

Site : En tête d'un vallon assez large ; pente de 1,5% ; drainage moyen ; érosion faible.

Aridisol : calciorthid mollic.

Utilisation : Céréales en sec, jachère, pâturage.

Localisation : Plaine du Zebra ; point S 160 (34° 54' N, 2° 47' W) ; altitude : 122 m.

## Description du sol :

0-25 cm : Brun (5 à 7,5 YR 5/6). Calcaire. Limoneux. Structure lamellaire sur quelques millimètres (glaçage de surface), puis polyédrique à nuci-forme, plus polyédrique en profondeur ; sous-structure grumeleuse assez nette ; éléments coprogènes. Limite inférieure graduelle et ondulée. Echantillons : A = 0-5 cm

B = 12-17 cm

25-40 cm : Plus rouge (5 YR 5/6). Calcaire : amas friables calcaires assez nombreux. Limono-argileux. Structure polyédrique moyenne ; éléments coprogènes. Limite inférieure distincte et assez régulière. Echantillon : C = 28-33 cm.

40-60 cm : Encroûtement calcaire massif, de couleur très claire. Structure à tendance massive ; sous-structure polyédrique ; éléments coprogènes. Limite inférieure diffuse.

Echantillon : D = 42-48 cm.

Au-dessous de 60 cm : Rouge à rouge-jaunâtre. Calcaire : amas friables calcaires de moins en moins nombreux vers le bas. Limono-argileux. Structure polyédrique, moyenne à fine, de mieux en mieux développée ; facettes lissées.

Echantillons : E = 60-70 cm

F = 85-95 cm

G = 110-120 cm

H = 125-130 cm

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)				
			A	L	STF	SF	SG
A	0- 5	88,5	22,2	18,4	15,4	29,2	14,8
B	12- 17	95,1	27,4	25,3	12,1	22,6	12,7
C	28- 33	77,7	34,0	22,0	7,6	21,5	14,9
D	42- 48	98,7					
E	60- 70	96,1	36,0	24,0	12,7	19,9	7,4
F	85- 95	89,3	31,1	20,4	7,5	16,4	24,6
G	110-120	93,2	27,6	38,6	12,1	16,5	5,2
H	125-130	98,9	24,0	24,0	19,5	28,7	3,8

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Matières organiques (‰)			
		Eau	KCl		T	C	N	C/N
A	26,0	8,45	7,65	0,5	17,4	10,0	1,3	7,9
B	28,1	8,6	7,7	1,1	14,7	8,5		
C	33,4	8,8	7,85	2,5	7,0	4,0	0,8	4,8
D	62,0	8,6	8,05	4,2	5,4	3,1		
E	38,0	8,5	8,0	6,0	2,3	1,3		
F	30,0	9,2	8,05	2,3	1,0	0,6		
G	27,0	8,8	7,9	3,6				
H	25,0	8,7	7,9	3,7				

## FICHE DE PROFIL N° 23

Profil n° : 5-5-68-1

Climat : Méditerranéen aride ; 310 mm.

Classification : Sol isohumique, à complexe saturé, brun-rouge subtropical encroûté, sur colluvions du Quaternaire.  
Aridisol : calciorthid mollic.

Site: Glacis ; pente de 1,2% ; drainage moyen ; érosion faible.

Utilisation : Plantation d'oliviers, peu irriguée.

Localisation : Plaine des Triffa ; S.E.H.A. de Boughriba  
(34° 55' N, 2° 30' W) ; altitude 88 m.

Surface : Microrelief légèrement ondulé.

## Description du sol :

0-30 cm : Brun (7,5 YR 4/4), puis brun-rouge (5 YR 4/4). Calcaire. Limoneux. De 0 à 15 cm, structure nuci-forme et grumeleuse (horizon labouré) ; de 15 à 30 cm : structure à tendance continue (semelle de labour et d'irrigation, compacte, à porosité faible, mal pénétrée par les racines). Éléments coprogènes peu nombreux. Limite inférieure distincte et régulière.

Echantillons : A = 1-13 cm

B = 15-23 cm

C = 23-31 cm

30-40 cm : Brun-rouge (5 YR 4/4). Calcaire. Limono-argileux. Structure polyédrique fine ; quelques éléments coprogènes. Limite inférieure graduelle et ondulée.

Echantillon : D = 33-40 cm.

40-60 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 5/6). Calcaire ; amas friables calcaires, de plus en plus nombreux. Argileux. Structure polyédrique fine ; quelques éléments coprogènes. Limite inférieure distincte et régulière.

Echantillons : E = 40-47 cm

F = 48-60 cm

60-90 cm : Encroûtement calcaire massif. Structure continue ; sous-structure polyédrique fine, de mieux en mieux marquée vers le bas. Assez dur et un peu feuilleté au sommet. Porosité faible. Pénétrations assez nombreuses de l'horizon supérieur.

Echantillon : G = 65-83 cm.

90-125 cm : Passage progressif à l'horizon sous-jacent.

Echantillon : H = 93-104 cm.

Au-dessous de 125 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 4/6) tendant un peu vers le rouge (2,5 YR). Calcaire ; amas friables et granules calcaires. Limono-argileux. Structure polyédrique fine à facettes lissées. Porosité moyenne.

Echantillon : I = 140-155 cm.

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Granulométrie terre décarbonatée (%)				
			A	L	STF	SF	SG	A	L	STF	SF	SG
A	1- 13	96,7	21,6	21,4	17,1	28,2	11,7	21,9	20,7	16,7	29,1	11,6
B	15- 23	97,8	21,1	19,6	13,7	26,6	29,0	26,7	10,9	12,0	30,0	20,4
C	23- 31	98,0	24,4	22,6	15,4	30,0	7,6	29,7	15,9	16,6	31,1	6,7
D	33- 40	95,5	30,6	25,2	14,0	26,3	3,9	38,7	15,0	11,9	31,1	3,3
E	40- 47	97,1	34,0	25,5	13,6	22,4	4,5	43,0	9,9	14,7	27,0	5,4
F	48- 60	98,5	36,0	30,4	10,0	19,9	3,7	42,0	16,3	10,9	24,4	6,4
G	65- 83	99,0	38,4	34,6	9,0	14,1	3,9	52,0	21,4	10,2	12,9	3,5
H	93-104	99,2	40,0	33,1	8,7	15,2	3,0	58,1	17,7	9,7	9,0	5,5
I	140-155	85,7	38,6	31,8	6,4	17,8	5,4	50,6	18,0	8,5	17,5	5,4

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Complexe adsorbant meq/100 g					K <sub>2</sub> O (‰)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (‰)		
		Eau	KCl		Ca	Mg	Na	K	S	T	T	A	T	A
A	24,0	8,7	7,9	0,5	9,6	3,4	0,31	1,13	14,44	14,2	8,5	0,25	0,3	0,16
B	26,0	8,9	8,0	0,5	9,2	3,6	0,63	1,01	14,44	14,2	8,5	0,15	0,4	0,16
C	26,0	8,9	7,9	0,4	5,4	2,6	0,44	0,94	9,38	9,0	6,4	0,07	0,4	0,15
D	27,4	9,0	7,8	0,5	12,0	3,6	0,67	1,05	17,32	15,7				
E	30,2	9,0	8,0	0,5	9,2	2,8	0,70	1,20	13,90	13,2	5,0	0,06	0,35	0,15
F	40,9	9,0	8,1	0,6	9,2	3,2	0,30	0,91	13,61	11,5				
G	60,5	8,4	7,9	1,5	5,0	1,6	1,37	0,52	8,49	7,2	4,8	0,07	0,3	0,14
H	52,3	8,6	7,9	0,9	3,2	4,8	0,45	0,57	9,02	9,5				
I	34,3	9,2	8,1	0,9	1,2	8,8	1,40	1,16	12,56	13,5				

Ech.	Matières organiques (‰)				Matières humiques en C (%)							
	T	C	N	C/N	T	AF	AH				AF/AH	Ch/Ct
							T	B (%)	I (%)	G (%)		
A	39,0	22,7	1,82	12,5	2,01	0,72	1,29	26,5	29,0	54,5	0,56	0,09
B	29,2	17,0	1,72	9,8	1,86	1,03	0,83	34,0	17,5	48,5	1,24	0,11
C	13,4	7,8	1,14	6,8								
D	12,9	7,6	0,75	10,0	0,66	0,30	0,36	41,0	16,3	42,7	0,83	0,09
E	6,7	3,6	0,67	5,8								
F	7,2	4,2	0,60	7,0								
G	5,8	3,4	0,53	6,4								
H	3,9	2,3	0,54	4,2								
I	1,4	0,8	0,44	1,8								



## FICHE DE PROFIL N° 25

*Profil n°* : 13-7*Climat* : Méditerranéen aride ; environ 270 mm.*Classification* : Sol isohumique, à complexe saturé, brun-rouge subtropical encroûté, sur colluvions du Quaternaire.*Site* : Sur le versant d'un large vallon ; pente de 1,5 % ; drainage bon ; érosion faible.

Aridisol : calciorthid mollic.

*Utilisation* : Céréales en sec, jachère, pâturage.*Localisation* : Plaine du Zebra ; S.E.H.A., parcelle 13 (34° 52' N, 2° 45' W) ; altitude : 115 m.*Surface* : Caillouteuse : éléments de croûte calcaire.*Description du sol* :

0-20 cm : Brun. Calcaire. Limoneux ; caillouteux : éléments de croûte calcaire, de plus en plus nombreux vers le bas. Structure un peu lamellaire en surface (glaçage), puis polyédrique à nuciforme assez nette ; éléments coprogènes. Limite inférieure abrupte et irrégulière.

Echantillons : A = 0-5 cm

B = 10-15 cm

20-36 cm : Encroûtement calcaire feuilleté = croûte. Feuillet minces. Un peu dur au sommet, tendre vers le bas. Le feuillet supérieur est très brisé. Limite inférieure graduelle et ondulée.

36-54 cm : Encroûtement calcaire finement nodulaire. De plus en plus rougeâtre vers le bas. Structure polyédrique moyenne à fine, de mieux en mieux développée vers le bas ; quelques éléments coprogènes. Limite inférieure diffuse.

Echantillon : C = 35-45 cm.

Au-dessous de 54 cm : Disparition progressive de l'encroûtement calcaire : vers le haut, gros amas friables calcaires de forme allongée, devenant vers le bas plus petits, plus arrondis, moins bien individualisés. Limono-argileux. Structure polyédrique moyenne à fine, à facettes assez bien lissées.

Echantillons : D = 60-70 cm

E = 85-95 cm

F = 110-120 cm

G = 135-145 cm

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Calcaire (%)	pH		Sels totaux	
			A	L	STF	SF	SG		Eau	KCl	E. S. (mmh)	E.A. (‰)
A	0- 5	94,2	9,6	28,6	23,9	24,2	13,7	26,1	8,65	7,60	3,0	0,85
B	10- 15	84,4	18,3	30,0	18,2	22,1	11,4	24,5	8,90	7,65	2,4	0,70
C	35- 45	99,0	33,0	36,5	13,0	12,9	4,6	57,1	9,10	8,25	4,5	2,05
D	60- 70	95,1	29,6	35,8	13,7	15,4	5,5	40,9	8,95	8,15	8,3	3,85
E	85- 95	97,9	40,9	41,5	10,0	6,1	1,5	37,6	8,65	7,95	12,2	6,50
F	110-120	96,7	34,2	32,7	13,0	13,4	6,7	27,7	8,65	7,90	13,7	6,90
G	135-145	99,1	41,4	25,3	15,4	15,0	2,9	23,0	8,55	7,80	15,4	7,40

Stabilité structurale									
Ech.	Matières organiques (‰)		Agrégats stables — SG (%)					K	
	T	C					Is		(cm/h)
			Eau	Alc.	Benz.	Moy.			
A	18,4	10,7	8,3	17,4	2,5	9,4	2,9		3,88
B	16,2	9,4	8,5	16,6	2,5	9,2	3,2		3,29
C	4,9	2,8							
D	1,8	1,1							
E	1,7	1,0							
F	1,6	0,9							
G	1,3	0,7							

Extrait de saturation											
Ech.	Cations meq/100 g					Anions meq/100 g					Anions + Cations (‰)
	Ca	Mg	Na	K	Total	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Total	
A	0,25	0,08	0,48	0,03	0,84	0,41	0,33	0	0,25	0,99	0,64
B	0,18	0,18	1,55	0,02	1,93	0,44	0,53	0	0,35	1,32	1,05
C	0,22	0,22	2,02	0,04	2,50	1,99	0,34	0	0,22	2,55	1,45
D	0,20	0,27	4,30	0,04	4,81	4,22	0,61	0	0,34	5,17	3,08
E	0,28	0,28	5,95	0,05	6,56	6,04	1,10	0	0,41	7,55	4,40
F	1,21	0,52	6,46	0,04	8,23	7,61	0,86	0	0,52	8,99	5,24
G	0,73	0,79	6,33	0,05	7,89	7,12	0,99	0	0,40	8,51	4,96



## FICHE DE PROFIL N° 26

Profil n° : 1-3-60-14

Climat : Méditerranéen aride ; environ 280 mm.

Classification : Sol isohumique, à complexe saturé, brun-rouge subtropical encroûté, sur colluvions du Quaternaire.

Site : Rebord d'un glacis disséqué ; pente de 1,5% ; drainage bon ; érosion faible.

Aridisol : paleorthid mollic.

Utilisation : Céréales en sec, jachère, pâturage.

Localisation : Plaine du Zebra ; point T 97 (34° 55' N, 2° 43' W) ; altitude : 108 m.

Surface : Caillouteuse : éléments de croûte calcaire.

## Description du sol :

0-32 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 5/6). Calcaire. Limoneux puis limono-argileux ; éléments de croûte calcaire, de plus en plus nombreux vers le bas. Structure lamellaire sur quelques millimètres (glaçage de surface) puis grumeleuse à nuciforme, puis tendance polyédrique en profondeur ; assez grossière ; éléments coprogènes. Limite inférieure abrupte et irrégulière.

Echantillons : A = 1-12 cm

B = 14-22 cm

C = 24-30 cm

32-49 cm : Encroûtement calcaire feuilleté = croûte. Dur au sommet, de plus en plus tendre vers le bas. Encroûtement calcaire lamellaire (pellicule rubanée) en surface. Le feuillet supérieur est très brisé. Limite inférieure graduelle et ondulée.

Echantillons : Da = 32-34 cm (pellicule rubanée)

Db = 35-40 cm

F = 43-49 cm

49-65 cm : Encroûtement calcaire finement granulaire. Jaune-rougeâtre (7,5 YR 7/6). Limite inférieure diffuse.

Echantillons : G = 49-56 cm

H = 57-63 cm

Au-dessous de 65 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 5/6). Calcaire : amas friables et granules calcaires de moins en moins nombreux vers le bas : à partir de 100 cm, ils deviennent peu nombreux. Limono-argileux ; graveleux. Lignes de cailloux à 110 et 145 cm. Structure polyédrique à facettes lissées, bien développée. Forte porosité fine.

Echantillons : I = 65-74 cm

J = 82-93 cm

K = 96-106 cm

L = 122-131 cm

M = 155-163 cm

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Granulométrie terre décarbonatée (%)				
			A	L	STF	SF	SG	A	L	STF	SF	SG
A	1-12	92,2	13,2	25,5	20,3	24,1	16,9	17,7	18,3	21,6	23,4	19,0
B	14-22	83,1	22,5	25,8	14,8	22,4	14,5	28,4	15,6	18,1	21,8	16,1
C	24-30	67,0	28,0	21,2	11,5	19,7	19,6	37,7	14,9	8,4	19,6	19,4
Da	32-34											
Db	35-40											
F	43-49											
G	49-56	95,0										
H	57-63	92,4										
I	65-74	94,8	29,5	48,0	7,9	8,0	6,6	56,1	20,6	5,9	12,2	5,2
J	82-93	96,0	31,4	40,9	10,5	10,2	7,0	51,4	15,8	6,9	15,3	10,6
K	96-106	91,7	29,5	42,9	11,3	10,2	6,1	44,5	20,6	9,6	16,6	8,7
L	122-131	90,0	28,9	37,2	14,0	12,5	7,4	40,0	20,5	14,4	13,9	11,2
M	155-163	84,3	28,9	23,7	17,9	14,0	15,5	37,6	21,6	13,0	13,0	14,8

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Complexe adsorbant meq/100 g					
		Eau	KCl		Ca	Mg	Na	K	S	T
A	22,1	9,0	8,0	0,6	10,8	2,4	0,95	1,65	15,8	13,25
B	23,7	9,2	8,0	1,2	6,8	2,0	2,95	1,5	13,25	11,75
C	33,5	9,1	8,2	2,4	4,8	2,8	4,63	1,22	13,45	13,0
Da	81,8	9,2	8,9							
Db	77,0	9,3	8,7	0,8						
F	75,3	9,6	8,8	1,6						
G	70,4	9,8	8,7	1,5						
H	59,9	9,9	8,8	1,1						
I	54,7	9,9	8,7	0,9	2,4	2,0	1,5	0,52	6,42	5,75
J	45,7	9,7	8,4	1,2	2,8	2,2	1,7	0,63	7,33	6,5
K	45,7	9,5	8,4	1,5	0,8	3,8	1,88	0,59	7,07	6,75
L	29,0	9,5	8,2	1,6	4,0	2,2	0,5	1,17	7,87	7,0
M	27,7	9,5	8,2	1,1	4,0	1,0	0,5	0,73	6,23	6,75

Ech.	Matières organiques (‰)				Matières humiques en C (%)							
					AH							
	T	C	N	C/N	T	AF	AF/AH				Ch/Ct	
							T	B (%)	I (%)	G (%)		
A	19,0	11,1	1,26	8,8	0,98	0,45	0,53	49,6	13,9	36,5	0,85	0,09
B	12,9	7,5	1,1	6,8	0,71	0,52	0,19	50,2	15,3	34,3	2,74	0,09
C	10,6	6,2	1,0	6,2	0,48	0,31	0,17				1,82	0,08

Ech.	K <sub>2</sub> O (‰)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (‰)		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				Stabilité structurale					C.R. (%)	
					T. tot.		T. n. calc.		Agrégats stables — SG (%)						
	T	A	T	A	T	L	T	L	L/T	Is					
										Eau	Alc.	Benz.	Moy.		
A	7,7	0,63	0,85	0,06						6,3	19,9	0,6	7,6	2,7	26,0
B	6,4	0,57	0,8	0,03	4,0	1,65	5,2	2,1	0,41	25,7	34,7	0,9	20,5	1,9	24,0
C	8,1	0,30	0,65	0,02						22,2	32,9	5,2	20,1	1,8	23,9
Db					1,1	0,3	4,8	1,3	0,25						
G					1,4	0,4	4,7	1,35	0,29						
I					2,0	0,7	4,4	1,55	0,35						
K					2,8	1,1	5,15	2,0	0,39						
M					4,1	1,85	5,7	2,4	0,45						

## FICHE DE PROFIL N° 27

Profil n° : ABO-1-40

Climat : Méditerranéen semi-aride ; environ 350 mm.

Classification : Sol isohumique à complexe saturé, châtain-rouge subtropical, sur colluvions du Quaternaire.  
Alfisol : palexeralf mollic et petrocalcic.

Site : Glacis quaternaire polygénique ; pente de 1% ; drainage moyen ; érosion faible.

Localisation : Plaine des Triffa ; S.E.H.A. de Slimania  
(34° 57' N, 2° 22' W) ; altitude : 110 m.

Utilisation : Station expérimentale : cultures irriguées. Le profil a été observé avant irrigation, après plusieurs années de jachère et de céréales en sec.

## Description du sol :

0-40 cm : Brun-rouge foncé en surface (2,5 YR 3/4) puis brun-rouge (2,5 YR 4/4). Peu calcaire. Argileux. Structure polyédrique à nuciforme à sous-structure grumeleuse, puis devenant de plus en plus polyédrique, grossière. Limite inférieure graduelle et ondulée.

Echantillons : A = 0-5 cm  
B = 10-15 cm  
C = 20-25 cm  
D = 30-40 cm

40-55 cm : Rouge-jaunâtre (3,75 YR 5/6). Calcaire : granules et nodules calcaires nombreux ; morceaux de croûte calcaire. Argileux. Structure polyédrique plus fine. Limite inférieure abrupte et ondulée.

Echantillon : E = 45-55 cm.

55-57 cm : Encroûtement calcaire lamellaire = pellicule rubanée.

Echantillon : F = 55-57 cm.

57-65 cm : Encroûtement calcaire feuilleté = croûte ; rose. Limite inférieure graduelle et ondulée.

Echantillon : G = 57-65 cm.

65-95 cm : Encroûtement calcaire nodulaire. Structure polyédrique moyenne, se développant de mieux en mieux vers le bas. Limite inférieure graduelle et ondulée.

Echantillon : H = 75-85 cm.

Au-dessous de 95 cm : Rouge (2,5 YR 5/6). Très calcaire : gros amas friables, granules et nodules calcaires, alignés et formant de grandes « trainées » verticales. Limono-argileux ; graviers de pélite. Structure polyédrique moyenne à fine.

Echantillons : I = 120-130 cm  
J = 180 cm

Ech.	Prof. (cm)	T.F. (%)	Granulométrie (%)					Granulométrie terre décarbonatée (%)				
			A	L	STF	SF	SG	A	L	STF	SF	SG
A	0- 5	98,1	44,0	24,6	12,7	13,0	5,7					
B	10- 15	98,1	42,4	26,4	13,9	11,4	5,6					
C	20- 25	98,6	43,7	25,3	13,8	12,3	4,9					
D	30- 40	98,0	53,9	20,0	11,4	10,2	4,5					
E	45- 55	90,3	55,5	19,7	9,9	8,1	6,8	71,3	9,9	9,0	7,5	2,3
F	55- 57											
G	57- 65											
H	75- 85	79,5	34,5	35,2	9,1	7,2	14,0	79,2	8,2	5,5	4,3	2,8
I	120-130	71,7	32,9	32,6	7,4	6,7	20,4	75,5	12,7	5,2	4,0	2,6
J	180	73,2	23,6	26,2	9,2	13,0	28,0	70,8	15,2	6,0	5,4	2,6

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				
		Eau	KCl		T. tot.		T. n. calc.		L/T
					T	L	T	L	
A	1,3	8,25	7,1	0,45	6,2	4,0			0,64
B	1,4	8,35	7,15	0,75	6,5	4,0			0,62
C	1,8	8,2	7,0	0,45	6,7	4,1			0,61
D	2,7	8,35	7,05	0,5	7,0	4,2			0,6
E	14,7	8,55	7,25	0,45					
F	71,6	8,8	8,1						
G	70,3	8,8	8,0						
H	61,4	8,85	7,65	0,55					
I	52,3	9,25	7,70	0,65					
J	49,0	9,55	8,0	1,3	3,0	1,6	5,9	3,1	0,53

Ech.	Matières organiques (‰)		Stabilité structurale					K (cm/h)
			Agrégats stables — SG (%)					
	T	C					Is	
			Eau	Alc.	Benz.	Moy.		
A	17,9	10,3	8,6	26,7	0,7	12,0	4,6	7,01
B	17,4	10,0	5,8	22,2	0,7	9,6	5,4	5,69
C	16,7	9,7	6,2	29,2	0,8	12,1	4,5	6,58
D	14,7	8,5	10,2	27,2	0,5	12,6	4,8	8,88
E	9,8	5,7						
H	4,1	2,4						
I	2,0	1,2						

## FICHE DE PROFIL N° 28

*Profil n°* : 2-5-68-5*Climat* : Méditerranéen semi-aride ; environ 425 mm.*Classification* : Sol isohumique, à complexe saturé, châtain-rouge subtropical, sur colluvions du Quaternaire. Mollisol : palexeroll petrocalcic.*Site* : Glacis ; pente de 1,5% ; drainage bon ; érosion faible.*Localisation* : Plaine des Triffa ; point 91 a (35° 0' N, 2° 09' W) ; altitude : 147 m.*Utilisation* : Cultures maraîchères irriguées (depuis un an seulement ; avant, céréales en sec et jachère).*Description du sol :*

- 0-30 cm : Brun-rouge foncé (5 YR 3/3). Non calcaire. Limono-argileux, puis argileux. Structure peu modifiée par l'irrigation : polyédrique à nuciforme ; sous-structure grenue et grumeleuse ; éléments coprogènes nombreux. Bonne porosité. Limite inférieure graduelle et ondulée.  
Echantillons : A = 1-9 cm  
B = 14-22 cm
- 30-85 cm : Eclaircissement et rubéfaction progressive ; vers 70 cm, c'est rouge (2,5 YR 4/6). Non calcaire jusqu'à 70 cm, puis calcaire. Argileux. La structure devient de plus en plus polyédrique : jusqu'à 50 cm, les éléments coprogènes bruns, à structure arrondie, sont encore nombreux ; puis structure finement polyédrique, à tendance aplatie, en petites écailles ; faces très lissées ; sur-structure prismatique ou polyédrique large. Porosité faible des agrégats. Limite inférieure distincte et régulière.  
Echantillons : C = 29-39 cm  
D = 43-52 cm  
E = 62-75 cm  
F = 76-84 cm
- 85-120 cm : Amas friables, granules et nodules calcaires nombreux. Même couleur. Moins argileux. Même structure. Limite inférieure abrupte et ondulée.  
Echantillon : G = 93-106 cm.
- 120-125 cm : Encroûtement calcaire pétrifié = dalle compacte de 3-6 cm d'épaisseur. Nombreux graviers de pélite et dolérite pris dans cette dalle. Limite inférieure distincte et irrégulière.  
Echantillon : H = 120-125 cm.
- 125-135 cm : Encroûtement calcaire nodulaire, rubéfié. Graviers de pélite et de dolérite. Limite inférieure graduelle et ondulée.  
Echantillon : I = 130-135 cm.
- Au-dessous de 135 cm : Rouge. Calcaire ; gros amas friables, nodules et granules calcaires. Limono-argileux ; graviers de pélite et de dolérite. Structure polyédrique.  
Echantillon : J = 150 cm.

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Granulométrie terre décarbonatée (%)				
			A	L	STF	SF	SG	A	L	STF	SF	SG
A	1- 9	91,2	30,1	7,1	22,8	22,2	17,8					
B	14- 22	92,4	47,3	14,1	6,8	17,7	14,1					
C	29- 39	96,0	58,6	9,8	6,8	12,7	12,1					
D	43- 52	95,8	64,5	8,5	6,3	12,1	8,6					
E	62- 75	93,1	63,3	10,2	3,6	12,7	10,2					
F	76- 84	87,7	52,6	14,7	5,1	12,4	15,2	59,7	4,7	6,6	14,5	14,5
G	93-106	83,5	35,6	15,1	7,5	8,0	33,8	67,9	3,6	5,2	10,4	12,9
H	120-125											
I	130-135							53,1	12,5	7,2	13,8	13,4
J	150	61,2	29,9	18,8	8,8	12,8	29,7	54,4	12,4	7,6	11,4	14,2

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Complexe adsorbant meq/100 g						Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				
		Eau	KCl		Ca	Mg	Na	K	S	T	T. tot.		T. n. calc.		L/T
											T	L	T	L	
A	0,2	7,6	6,5	1,0	23,4	10,0	1,15	0,71	35,26	36,7					
B	0,12	7,6	6,4	0,15	18,0	5,4	0,8	1,2	25,40	25,2	5,6	3,7			0,66
C	0,12	7,8	6,5	0,15	21,6	7,2	0,74	0,86	30,40	29,5					
D	1,5	8,0	6,8	0,2	24,6	7,0	0,86	0,66	33,12	32,5	6,0	4,0	6,1	4,05	0,67
E	2,6	8,2	7,2	0,4	25,2	7,8	1,31	0,63	34,94	32,0	6,0	3,7	6,15	3,8	0,62
F	14,6	8,35	7,4	0,5	24,6	6,0	1,0	0,56	32,16	29,7					
G	34,3	8,45	7,5	0,4	11,6	5,2	0,88	0,50	18,18	17,2	3,8	2,2	5,8	3,35	0,58
H	71,7														
I	59,7										2,6	1,5	6,5	3,7	0,58
J	42,5	8,4	7,5	0,4	8,4	4,4	0,93	0,55	14,28	13,5	3,6	2,0	6,3	3,5	0,55

Ech.	Matières organiques (‰)				Matières humiques en C (%)							
	T	C	N	C/N	T	AF	AH				AF/AH	Ch/Ct
							T	B (%)	I (%)	G (%)		
A	16,5	9,6	1,1	8,7	2,39	0,44	1,95	26,0	17,5	56,5	0,23	0,25
B	14,6	8,5	0,9	9,4	2,52	0,81	1,71	25,9	17,8	56,3	0,47	0,30
C	13,9	8,1	0,9	9,0	1,29	0,32	0,97	29,2	17,0	53,8	0,33	0,16
D	11,9	6,9	0,8	8,6								
E	6,5	3,8	0,6	6,3								
F	2,4	1,4	0,5	2,8								
G	1,2	0,7	0,3	2,3								

## FICHE DE PROFIL N° 29

Profils n° : 16-4-59-1  
4-5-68-3  
19-3-63

Classification : Sol isohumique, à complexe saturé, brun-rouge subtropical encroûté, sur colluvions du Quaternaire.  
Aridisol : paleorthid mollic.

Localisation : Plaine du Zebra ; point 7 (34° 53' N, 2° 47' W) ; altitude : 135 m.

Climat : Méditerranéen aride ; environ 270 mm.

Site : Glacis ; pente de 1% ; drainage bon ; érosion faible.

Utilisation : Céréales en sec, jachère, pâturage.

Surface : Très caillouteuse : éléments de dalle calcaire compacte.

## Description du sol :

0-30 cm : Brun à brun-rouge. Calcaire. Limoneux ; très caillouteux (éléments de dalle et croûte calcaire). Structure nuciforme, devenant polyédrique en profondeur. Limite inférieure abrupte et ondulée.  
Echantillons : 16-4-59-1 — A = 0-5 cm  
B = 12-17 cm  
C = 22-27 cm

30-45 cm : Encroûtement calcaire feuilleté = croûte blanche ; dureté faible ; très caillouteux (éléments de dalle calcaire compacte). Limite inférieure graduelle et ondulée.  
Echantillon : 16-4-59-1 — D = 37-42 cm

45-55 cm : Encroûtement calcaire massif ; très caillouteux. Limite inférieure abrupte et irrégulière.  
Echantillon : 16-4-59-1 — E = 47-52 cm.

55-57 cm : Encroûtement calcaire lamellaire = pellicule rubanée. Limite inférieure abrupte et irrégulière.  
Echantillon : 4-5-68-3 — Aa = 55-57 cm.

57-70 cm : Encroûtement feuilleté et pétrifié = dalle calcaire compacte. Limite inférieure distincte et ondulée.  
Echantillon : 4-5-68-3 — Ai = 60-70 cm.

70-100 cm : Encroûtement calcaire feuilleté = croûte ; très dur au sommet, de plus en plus tendre vers le bas. Limite inférieure graduelle et ondulée.  
Echantillons : 4-5-68-3 — Ab = 70-75 cm  
B = 75-85 cm  
C = 85-95 cm

100-155 cm : Encroûtement calcaire nodulaire. Limite inférieure diffuse.

Echantillons : 4-5-68-3 — D = 105-115 cm  
E = 120-135 cm  
F = 140-155 cm

155-350 cm : Rose-ocre. Très dur. Calcaire ; gros amas friables calcaires mal délimités. Limono-argileux. Niveaux caillouteux lenticulaires (cailloux roulés). Structure polyédrique.  
Echantillons : 4-5-68-3 — G = 160-170 cm  
19-3-63 — 2 = 200 cm

350-750 cm : Rose-ocre. Très dur. Calcaire ; amas friables calcaires : ces amas sont nettement plus nombreux dans trois horizons formant des bandes horizontales (échantillons 3, 4, 6 et 7). Limono-argileux. Quelques niveaux caillouteux lenticulaires (cailloux roulés). Structure polyédrique.  
Echantillons : 19-3-63 — 3 = 400 cm  
4 = 400 cm  
6 = 500 cm  
5 = 600 cm  
7 = 700 cm

750-1 000 cm : Niveau caillouteux (cailloux roulés).

Au-dessous de 1 000 cm : Rose-ocre ; nombreuses petites taches noires. Dur. Calcaire ; amas friables calcaires peu nombreux au sommet ; amas friables, granules et nodules calcaires très nombreux à la base.

Limono-argileux. Non caillouteux. Structure polyédrique.  
Echantillons : 19-3-63 — 8 = 1 050 cm  
9 = 1 200 cm

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					pH		Sels tot. E. A. (‰)	Calcaire (%)
			A	L	STF	SF	SG	Eau	KCl		
I-A	0-	72,6	13,6	34,6	16,9	23,7	11,2	8,65	7,6	0,8	20,5
B	12- 17	57,7	17,0	35,4	16,5	21,8	9,3	8,7	7,7	1,0	20,0
C	22- 27	75,7	24,8	28,3	18,2	20,9	7,8	8,8	7,8	1,5	21,2
D	37- 42							8,7	8,1	2,5	68,0
E	47- 52							8,6	8,2	3,2	62,0
3-Aa	55- 57							9,2	8,4	0,6	77,5
AI	60- 70									0,3	86,5
Ab	70- 75							9,1	8,5	0,6	81,8
B	75- 85							9,1	8,5	0,8	80,0
C	85- 95							9,1	8,5	2,2	78,6
D	105-115							8,8	8,3	3,7	70,4
E	120-135							8,6	8,2	5,4	62,1
F	140-155	96,4	21,4	26,1	13,9	27,6	11,0	8,0	7,9	14,2	49,0
G	160-170	98,0	29,6	26,3	11,3	21,9	10,9	8,0	7,8	14,2	43,4
63-2	200	98,5	31,4	20,8	9,9	26,5	11,4	8,05	7,4	72,5	26,9
3	400	98,8	32,7	27,6	16,4	19,0	4,3	8,3	7,4	21,5	17,2
4	400	97,5	31,5	27,7	15,6	21,7	3,5	7,95	7,25	43,0	14,0
6	500	96,2	29,7	23,0	12,1	23,3	11,9	7,95	7,3	62,5	32,2
5	600	99,1	35,9	26,3	15,3	17,4	5,1	7,95	7,25	39,0	21,2
7	700	99,3	37,1	24,2	10,5	19,9	8,3	7,9	7,3	92,5	28,6
8	1 050	99,4	40,2	31,1	11,8	13,5	3,4	8,45	7,4	14,5	20,5
9	1 200	91,9	28,7	21,8	11,5	21,8	16,2	8,5	7,55	14,5	36,0

Ech.	Matières organiques (‰)				Matières humiques en C (%)							
					T	AF	AH				AF/AH	Ch/Ct
	T	C	N	C/N			T	B (%)	I (%)	G (%)		
I-A	25,3	14,7	1,47	10,0	1,38	0,74	0,64	43,0	12,5	44,5	1,16	0,09
B	16,5	9,6	1,16	8,2	1,36	0,83	0,53	38,5	13,5	48,0	1,57	0,14
C	10,3	6,0	0,77	7,7	0,71	0,48	0,23	38,5	12,0	49,5	2,09	0,12

Ech.	K <sub>2</sub> O (°/°°)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (°/°°)		Stabilité structurale					C. R. (%)		
				Agrégats stables — SG (%)				Is			
				T	A	Eau	Alc.			Benz.	Moy.
I-A	8,4	0,9	0,13	6,2	16,3	4,8	9,1	3,4	23,8		
B	10,0	0,8	0,07	7,5	17,6	1,2	8,8	4,4	24,4		
C	8,9	0,6	0,05						24,5		



## FICHE DE PROFIL N° 30

Profils n° : 18-12-61-1  
2-5-68-2

Classification : Sol isohumique, à complexe saturé, brun-rouge subtropical encroûté, sur colluvions du Quaternaire.  
Aridisol : paleorthid mollic.

Localisation : Plaine des Triffa ; Oued Chabrenne ; point 120 (34° 57' N, 2° 25' W) ; altitude : 80 m.

Climat : Méditerranéen semi-aride ; environ 330 mm.

Site : Glacis ; pente de 1,5% ; drainage moyen ; érosion faible.

Utilisation : Cultures maraîchères irriguées.

Surface : Caillouteuse : éléments de dalle calcaire compacte.

## Description du sol :

0-30 cm : Brun-rouge. Non calcaire au sommet, calcaire à la base. Limoneux ; caillouteux à partir de 15-20 cm (éléments de dalle calcaire). Structure polyédrique à nuciforme, puis polyédrique. Limite inférieure abrupte et ondulée.

Echantillons : 18-12-61-1 — A = 0-3 cm  
B = 4-7 cm  
C = 10-14 cm  
D = 20-28 cm

30-60 cm : Encroûtement calcaire feuilleté = croûte ; peu durci ; contient de nombreux cailloux de dalle calcaire compacte. Limite inférieure abrupte et irrégulière.

60-62 cm : Encroûtement calcaire lamellaire = pellicule rubanée. Limite inférieure abrupte et irrégulière.  
Echantillon : 2-5-68-2 — I = 60-62 cm

62-85 cm : Encroûtement calcaire feuilleté et pétrifié = dalle compacte. Limite inférieure distincte et ondulée.  
Echantillon : 2-5-68-2 — I' = 65-75 cm.

85-130 cm : Encroûtement calcaire feuilleté = croûte ; très dur au sommet, de plus en plus tendre vers le bas. Limite inférieure graduelle et ondulée.  
Echantillons : 2-5-68-2 — H = 90-100 cm  
G = 115-125 cm

130-200 cm : Encroûtement calcaire nodulaire. Limite inférieure diffuse.  
Echantillons : 2-5-68-2 — F = 140-150 cm  
E = 190 cm

Au-dessus de 200 cm : Dépôt villafranchien : colluvions et alluvions limono-argileuses à grosses lentilles de cailloux roulés.

Echantillons : 2-5-68-2 — D = 400 cm  
C = 500 cm  
B = 950 cm  
A = 1 400 cm

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Granulométrie terre décarbonatée (%)				
			A	L	STF	SF	SG	A	L	STF	SF	SG
I-A	0- 3	91,1	15,5	25,2	22,1	32,5	4,7					
B	4- 7	93,6	20,2	21,9	15,1	37,7	5,1					
C	10- 14	90,7	20,2	24,5	21,2	29,6	4,5					
D	20- 28	77,1	24,8	21,6	18,4	29,3	5,9					
2-I	60- 62											
I'	65- 75											
H	90-100											
G	115-125											
F	140-150		17,7	19,0	4,0	31,5	27,8	35,0	14,8	12,4	22,0	15,8
E	190		22,4	34,1	12,4	12,4	18,7	39,2	15,1	10,5	19,9	15,3
D	400		34,2	32,8	18,6	10,7	3,7	36,0	22,6	22,3	16,3	2,8
C	500		44,5	34,1	9,5	9,3	2,6	42,5	24,3	19,6	11,1	2,5
B	950		30,3	36,6	19,4	7,3	6,4	49,0	23,3	10,4	10,8	6,5
A	1 400		49,9	25,7	8,1	11,5	4,8	28,1	22,5	18,9	25,5	5,0

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Complexe adsorbant meq/100 g						Mat. organ. (‰)	
		Eau	KCl		Ca	Mg	Na	K	S	T	T	C
I-A	0,4	8,8	7,1	0,8	11,0	6,0	0,81	0,67	18,48	19,0	3,21	1,86
B	1,6	8,5	7,3	1,2	11,0	6,0	0,69	0,50	18,19	19,0	3,92	2,82
C	2,1	8,7	7,1	1,0	15,0	6,0	0,69	0,77	22,46	22,0	2,80	1,62
D	12,4	8,75	7,15	0,95							2,26	1,32
2-I	81,7			0,9								
I'	86,3			0,5								
H	78,3			0,1								
G	73,6			0,3								
F	69,5			0,6								
E	63,2			1,5								
D	34,6			0,6								
C	22,4			6,6								
B	44,7			6,6								
A	22,4			6,5								

Ech.	K <sub>2</sub> O (°/oo)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (°/oo)		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				Stabilité structurale					C.R. (%)	
					T. tot.		T. n. calc.		L/T	Agrégats stables — SG (%)					Is
	T	A	T	A	T	L	T	L	Eau	Alc.	Benz.	Moy.			
I-A	7,2	0,19	1,7	0,12	4,57	2,58			0,56	4,3	10,2	1,8	5,5	6,15	18,8
B	7,2	0,07	1,6	0,12	4,5	2,42	4,57	2,46	0,54	6,7	16,0	3,8	8,8	4,10	20,0
C	6,4	0,07	1,4	0,12	4,54	2,35	4,64	2,4	0,52	15,9	27,3	4,3	15,8	2,80	18,8
D	6,4	0,19	1,5	0,24						10,3	29,6	2,2	14,0	2,90	20,4

## II. — LES SOLS DE LA MONTAGNE : fiches n<sup>os</sup> 31 à 42.

- Sur chaque fiche, le sol est classé d'après la classification de G. AUBERT (1965 *a* et *b*) et d'après la classification américaine (U.S.D.A., 1967). Il est également défini d'après le type de différenciation pédologique (voir chap. 5, § VI et chap. 6, § III et V).
- Le tableau XVIII, placé dans le chapitre 5, p. 125, récapitule les correspondances entre les diverses dénominations.

## FICHE DE PROFIL N° 31

*Profil n°* : 3-5-68-6

*Climat* : Méditerranéen semi-aride ; environ 450 mm.

*Classification* : Sol fersiallitique, rouge méditerranéen, non lessivé, encroûté, sur calcaire magnésien compact du Lias.

*Site* : Versant NW ; pente de 40% ; drainage moyen ; érosion faible.

Mollisol : argixeroll calcic et ruptic.

*Végétation* : Prairie ; présence de *Chamaerops humilis* L. très dégradés.

*Différenciation pédologique* : Profil textural moyennement différencié ; profil calcaire très différencié ; Aca non calcaire ; At sombre.

*Utilisation* : Pâturage.

*Localisation* : Chaîne des Bni Snassène ; point 121 (34°53' N, 2° 14' W) ; altitude : 500 m.

*Surface* : Karst ; affleurements rocheux très nombreux ; surface très caillouteuse.

*Description du sol :*

0-35 cm : Brun-rouge foncé (5 YR 3,5/3). Organique. Non calcaire. Limono-argileux, puis argileux. Quelques cailloux de calcaire. Structure grumeleuse et grenue, fine à moyenne, assez bien développée ; sur-structure polyédrique à nuciforme. Éléments coprogènes. Limite inférieure graduelle et régulière.

Echantillons : A = 1-11 cm

B = 14-23 cm

C = 25-36 cm

35-65 cm : Plus rouge et moins foncé (2,5 YR 3,5/4). Non calcaire au sommet, légèrement calcaire à la base. Argileux. Cailloux de calcaire plus nombreux. Structure polyédrique moyenne, devenant fine en profondeur. Limite inférieure distincte et irrégulière.

Echantillons : D = 48-59 cm

E = 59-65 cm

Au-dessous de 65 cm : Moins foncé. Calcaire. Cailloux nombreux. Nombreux amas friables, granules et nodules calcaires, les nodules pouvant atteindre 10 cm de diamètre. Taches noires et jaunes. Quelques petites concrétions ferrugineuses. Structure polyédrique fine.

Echantillons : F<sub>1</sub> = 73-90 cm

F<sub>2</sub> = granules et nodules calcaires

G = 105-125 cm

H = gros nodule calcaire

I = calcaire magnésien

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Granulométrie terre décarbonatée (%)				
			A	L	STF	SF	SG	A	L	STF	SF	SG
A	1- 11	99,7	28,0	19,0	35,7	10,1	7,2					
B	14- 23	100,0	34,2	29,4	18,5	10,3	7,6					
C	25- 36	98,2	43,6	31,9	6,0	10,5	8,0					
D	48- 59	93,0	52,0	24,2	12,1	7,7	4,0					
E	59- 65	90,0	59,7	24,4	7,7	4,9	3,3					
F <sub>1</sub>	73- 90	83,3	38,2	15,8	7,0	7,7	31,3	88,1	7,2	4,2	4,7	3,0
F <sub>2</sub>	73- 90											
G	105-125	78,0	38,7	19,3	11,3	9,8	20,9	65,2	26,4	2,1	3,7	2,6
H	150											

Ech.	Calcaire (%)			pH	Sels tot. E.A. (%)	Complexe adsorbant meq/100 g						Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
	CO <sub>3</sub> Ca	CO <sub>3</sub> Mg	(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>									T. tot.		T. n. calc.	
	Ca, Mg	Ca, Mg	Ca, Mg			Ca	Mg	Na	K	S	T	T	L	T	L
A	0,3	0,0	4,0	8,1	7,0	0,7	28,8	10,0	0,10	0,94	39,84	40,0	9,4	7,0	
B	0,2			7,9	6,9	0,3	24,8	10,0	0,43	0,61	35,84	36,7			0,74
C	0,3	0,0	4,0	7,9	6,6	0,3	39,6	6,4	0,05	0,28	46,33	48,7	9,8	7,3	0,74
D	1,2	0,0	8,5	8,1	6,6	0,4	22,0	7,8	0,23	0,38	30,41	30,5			
E	2,8	0,0	8,5	8,1	7,0	0,4	22,4	6,8	0,44	0,39	30,03	30,5	10,4	8,2	0,79
F <sub>1</sub>	37,3	0,0	27,5	8,2	7,0	0,5	15,0	5,2	0,02	0,22	20,44	20,0	6,4	4,8	0,75
F <sub>2</sub>	67,5	0,0	4,6	8,6	7,8										
G	34,8	0,0	18,4	8,3	7,1	0,5	15,0	4,8	0,02	0,22	20,04	21,2			
H	70,0	0,0	9,2	8,4	7,9										
I	82,5	0,0	4,6	8,6	8,0								0,4	0,3	3,1

Ech.	Matières organiques (‰)				Matières humiques en C (%)							
	T	C	N	C/N	T	AF	AH				AF/AH	Ch/Ct
							T	B (%)	I (%)	G (%)		
A	83,9	48,8	3,71	13,1	5,61	1,33	4,28	34,5	17,0	48,5	0,31	0,11
B	83,9	48,8	3,61	13,5								
C	41,1	23,9	2,10	11,3	3,87	0,72	3,15	29,0	22,0	49,0	0,23	0,16
D	19,4	11,3	1,26	8,9								
E	10,5	6,0	1,08	5,5								
F <sub>1</sub>	9,6	5,6	0,52	10,7								
G	8,8	5,1	0,63	8,0								

## FICHE DE PROFIL N° 32

*Profil n°* : 30-4-68-6*Climat* : Méditerranéen subhumide ; environ 550 mm.*Classification* : Sol fersiallitique, rouge méditerranéen, non lessivé. Encroûté sur dolomie compacte du Lias. Mollisol : argixeroll calcic et ruptic.*Site* : Versant N ; pente de 25% ; drainage moyen ; érosion faible.*Différenciation pédologique* : Profil textural moyennement différencié ; profil calcaire très différencié ; Aca non calcaire ; At sombre.*Végétation* : Prairie ; présence de *Chamaerops humilis* L., très dégradés.*Utilisation* : Pâturage.*Localisation* : Chaîne des Bni Snassène ; point 113 a (34°51' N, 2° 18' W) ; altitude : 810 m.*Surface* : Karst : affleurements rocheux assez nombreux ; surface très caillouteuse.*Description du sol :*

0-35 cm : Brun-rouge foncé (5 YR 3/3). Organique. Enracinement moyen. Légèrement calcaire en surface. Argilo-limoneux puis argileux. Caillouteux. Structure polyédrique à nuciforme ; sous-structure grenue et grumeleuse. Limite inférieure distincte et régulière.

Echantillons : A = 2-12 cm

B = 17-27 cm

35-80 cm : Rouge (2,5 YR 3,5/6). Enracinement moins important. Non calcaire. Argileux. Caillouteux. Structure polyédrique fine à facettes très lissées : on ne distingue cependant pas de vrais revêtements. Limite inférieure graduelle et assez régulière.

Echantillon : C = 65-75 cm.

80-135 cm : Rouge (2,5 YR 4/6). Enracinement faible. Calcaire. Apparition d'amas et granules en profondeur. Argileux. Caillouteux. Même structure. Limite inférieure distincte et irrégulière.

Echantillons : D = 95-105 cm

E = 125-135 cm

Au-dessous de 135 cm : Rouge plus clair (2,5 YR 5/6), quelquefois un peu plus jaune. Calcaire. Amas friables, granules et nodules calcaires nombreux. Argileux. Caillouteux. Structure polyédrique moins fine, moins bien développée.

Echantillons : F = 135-145 cm

G = 155-165 cm

H = nodules

I = dolomie compacte

Ech.	Prof. cm	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Granulométrie terre décarbonatée (%)				
			A	L	STF	SF	SG	A	L	STF	SF	SG
A	2- 12	94,2	48,2	28,6	13,5	8,1	1,6					
B	17- 27	98,3	58,5	30,5	5,6	4,8	0,6					
C	65- 75	99,6	69,3	18,2	6,2	6,0	0,3					
D	95-105	82,4	48,7	14,8	7,9	8,2	20,4	80,4	12,7	3,1	3,6	0,2
E	125-135	88,5	58,4	19,5	6,0	6,2	9,9	90,1	4,8	2,7	2,2	0,0
F	135-145	77,1	40,1	23,2	6,3	7,0	21,4	80,8	11,5	3,9	3,8	0,0
G	155-165	75,8	41,2	18,8	5,1	10,4	24,5	71,0	16,4	6,6	5,8	0,2

Ech.	Calcaire (%)		pH		Complexe adsorbant meq/100 g						Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				
	CO <sub>3</sub> Ca	(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Mg	Eau	KCl	Ca	Mg	Na	K	S	T	T. tot.		T. n. calc.		
											T	L	T	L	L/T
A	0,0	18,4	7,7	6,7	30,8	9,6	0,55	0,63	41,58	42,2	7,2	4,5	8,8	5,5	0,62
B	0,0	9,2	7,9	6,7	32,8	11,2	0,60	0,55	45,15	48,2	7,4	4,6	8,15	5,1	0,62
C	0,0	9,2	8,0	6,8	30,0	14,8	0,79	0,49	46,08	48,7	8,2	5,1	9,0	5,6	0,62
D	25,0	9,2	8,3	7,4	23,6	7,8	0,71	0,29	32,40	30,0	4,6	3,1	7,0	4,7	0,67
E	35,0	9,2	8,2	7,3	29,0	9,2	0,63	0,33	39,56	38,0					
F	60,0	18,4	8,3	7,4	22,0	7,8	0,63	0,25	30,68	29,5	4,0	2,5	18,5	11,6	0,62
G	39,9	37,0	8,3	7,4	15,2	4,8	0,88	0,28	21,16	21,2					
H	49,9	46,3													
I	0,0	100,0									0,3	0,2			0,97

Ech.	Matières organiques (‰)				Matières humiques en C (%)							
	T	C	N	C/N	T	AF	AH				AF/AH	Ch/Ct
							T	B (%)	I (%)	G (%)		
A	78,6	45,4	2,6	17,4	7,24	1,98	5,26	29,0	12,0	59,0	0,38	0,16
B	28,8	16,7	1,0	16,7	8,76	3,51	5,25	22,5	12,0	65,5	0,67	0,52
C	18,8	10,9	0,9	12,1	1,68	0,48	1,20	40,9	12,9	46,2	0,40	0,15
D	11,2	6,5	0,7	8,7								
E	15,1	8,1	0,7	11,6								
F	9,4	5,5	0,6	9,2								
G	10,3	6,0	0,6	10,0								

## FICHE DE PROFIL N° 33

*Profil n°* : 3-5-68-1*Climat* : Méditerranéen subhumide ; environ 600 mm.*Classification* : Sol fersiallitique, rouge méditerranéen, non lessivé, modal, sur dolomie compacte du Lias.  
Mollisol : argixeroll ruptic.*Site* : Versant N ; pente de 25% ; drainage bon ; érosion faible.*Différenciation pédologique* : Profil textural moyennement différencié ; profil calcaire moyennement différencié ; Aca non calcaire ; At sombre.*Végétation* : Matorral dégradé de chênes verts.*Utilisation* : Bois.*Localisation* : Chaîne des Bni Snassène ; point 87 a (34°52' N, 2° 12' W) ; altitude : 1 200 m.*Surface* : Karst : affleurements rocheux très nombreux ; surface très caillouteuse.*Description du sol :*

0-17 cm : Brun-rouge foncé (5 YR 3,5/3). Organique. Enracinement moyen. Très peu calcaire. Finement limono-argileux. Peu caillouteux. Structure polyédrique à nuciforme ; sous-structure grenue et grumeleuse bien développée. Limite inférieure diffuse.

Echantillons : A = 2-12 cm

B = 14-20 cm

17-35 cm : Brun-rouge (2,5 YR 4/4). Très peu calcaire. Présence de dolomie fine. Argilo-limoneux puis argileux. Peu caillouteux. Structure polyédrique fine, bien développée. Limite inférieure graduelle et irrégulière.

Echantillon : C = 25-31 cm

Au-dessous de 35 cm : Le sol devient rapidement très caillouteux avec des éléments de toutes tailles (dolomie). La teneur en argile diminue. La couleur tend vers le rouge jaunâtre (5 YR 4/6). L'enracinement est assez important. Légèrement calcaire ; accumulation importante de dolomie fine. Structure polyédrique très fine, bien développée.

Echantillons : D = 38-55 cm

F = 100 cm

E = dolomie compacte



Ech.	Prof. (cm)	T.F. (%)	Granulométrie (%)					Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				L/T
			A	L	STF	SF	SG	T. tot.		T. n. calc.		
								T	L	T	L	
A	2-12	97,7	34,8	24,0	29,8	9,1	2,3					
B	14-20	99,2	44,3	26,1	18,5	8,9	2,2	7,2	4,3	7,25	4,35	0,60
C	25-31	99,9	52,6	24,9	10,5	8,0	4,0					
D	38-55	92,5	49,1	21,6	15,3	11,1	2,9	7,8	5,3	9,85	6,7	0,68
F	100	83,9	25,0	10,7	19,6	33,9	10,8					
E								0,2	tr.			

Ech.	Calcaire (%)			pH		Complexe adsorbant meq/100 g					
	CO <sub>3</sub> Ca	CO <sub>3</sub> Mg	(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca, Mg	Eau	KCl	Ca	Mg	Na	K	S	T
A	0,0	1,2		7,8	7,5	17,2	1,2	0,56	1,59	20,55	19,0
B	0,0	0,8		7,7	7,0	22,4	8,0	0,70	1,13	32,23	30,0
C	5,0		27,6	7,6	6,7	22,0	6,8	0,50	0,66	29,96	30,0
D	0,0	2,5	18,4	7,65	6,5	25,2	5,6	0,89	0,54	32,23	30,5
F	0,0		64,6	8,0	6,8	12,8	2,0	0,28	0,27	15,35	15,7
E	0,0		99,5								

Ech.	Matières organiques (‰)				Matières humiques en C (%)							
	T	C	N	C/N	T	AF	AH				AF/AH	Ch/Ct
							T	B (%)	I (%)	G (%)		
A	48,1	28,0	2,6	10,8	6,45	2,62	3,83	35,0	15,0	50,0	0,68	0,23
B	32,9	19,1	1,7	11,2	2,10	1,35	0,75	34,0	16,5	49,5	1,80	0,11
C	23,6	13,7	1,1	12,4								
D	25,3	14,7	1,1	13,3	2,37	0,91	1,46	42,3	11,9	45,8	0,62	0,16
F	12,0	7,0	0,8	8,7								

## FICHE DE PROFIL N° 34

*Profil n°* : 3-5-68-8*Climat* : Méditerranéen semi-aride ; environ 400 mm.*Classification* : Sol fersiallitique, rouge méditerranéen, non lessivé, modal, sur flysch pélitique du Primaire.  
Alfisol : haploxeraf typic.*Site* : Versant E ; pente de 20% ; drainage bon ; érosion moyenne.*Différenciation pédologique* : Profil textural moyennement différencié ; non calcaire ; At clair.*Végétation* : Prairie.*Localisation* : Chaîne des Bni Snassène ; point 119 (34°54' N° 2° 14' W) ; altitude : 320 m.*Utilisation* : Pâturage.*Surface* : Caillouteux.*Description du sol :*

0-5 cm : Brun-rouge (5 YR 4/3). Limoneux. Structure bien développée, grumeleuse et grenue ; sur-structure nuciforme. Éléments coprogènes nombreux. Limite inférieure graduelle et régulière.

Echantillon : A = 0-5 cm.

5-45 cm : Accentuation progressive de la rubéfaction : on passe à du 2,5 YR 4/4. Limono-argileux. De plus en plus caillouteux (débris anguleux de flysch). Structure développée, surtout grumeleuse et polyédrique. Éléments coprogènes abondants. Limite inférieure graduelle et irrégulière.

Echantillons : B = 18-24 cm

C = 30-44 cm

Au-dessous de 45 cm : Flyschs pélitiques, altérés, disloqués. Des éléments terrigènes rubéfiés s'y retrouvent profondément.

Echantillon : D = 50-60 cm = pélite.

Ech.	Prof. (cm)	T. F. (%)	Granulométrie (%)					Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		
			A	L	STF	SF	SG	T	L	L/T
A	0-5	56,4	27,1	23,1	12,0	8,5	29,3	7,3	4,2	0,57
B	18-24	75,0	30,8	22,8	11,5	7,7	27,2	7,4	4,4	0,60
C	30-44	57,1	33,3	19,1	9,7	11,1	26,8	7,5	4,6	0,61
D	50-60							6,9	3,7	0,54

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E.A. ‰	Complexe adsorbant meq/100 g					
		Eau	KCl		Ca	Mg	Na	K	S	T
A	0,0	8,3	7,2	0,4	18,8	3,0	0,62	0,52	22,94	23,5
B	0,0	8,2	7,0	0,3	20,8	4,0	0,70	0,29	25,79	28,5
C	0,0	8,1	6,9	0,2	21,6	3,4	0,24	0,25	25,49	26,0

Ech.	Matières organiques (‰)				Matières humiques en C (%)							
					T	AF	AH				AF/AH	Ch/Ct
	T	C	N	C/N			T	B (%)	I (%)	G (%)		
A	37,3	21,7	2,24	9,6	2,32	0,80	1,52	47,6	13,3	39,1	0,53	0,11
B	26,1	15,2	1,82	8,3	1,61	0,62	0,99	28,1	17,6	54,1	0,63	0,11
C	16,5	9,6	1,43	6,7	1,31	0,52	0,79	17,1	8,2	74,7	0,66	0,14

## FICHE DE PROFIL N° 35

*Profil n°* : 30-4-68-1

*Climat* : Méditerranéen semi-aride ; environ 450 mm.

*Classification* : Sol fersiallitique, rouge méditerranéen, lessivé, modal, sur flysch pélitique du Primaire.  
Mollisol : palexeroll abruptic.

*Site* : Versant NW ; pente de 100% ; drainage moyen ; érosion assez faible.

*Différenciation pédologique* : Profil textural très différencié ; non calcaire ; At sombre.

*Végétation* : Matorral dégradé.

*Localisation* : Chaîne des Bni Snassène ; point 22 (34°51' N, 2°22' W) ; altitude : 430 m.

*Utilisation* : Pâturage.

*Surface* : Caillouteux.

## Description du sol :

0-20 cm : Brun-rouge foncé (5 YR 3/2). Organique (enracinement important) ; 0,5 cm de litière au sommet. Limono-argilo-sableux. Graveleux. Structure grumeleuse, devenant progressivement polyédrique fine, bien développée ; tendance massive à l'état sec. Limite inférieure distincte et irrégulière.

Echantillons : A = 1-8 cm

B = 15-22 cm

20-50 cm : Brun-rouge (2,5 YR 4/4). Enracinement nettement plus faible. Argileux. Caillouteux. Structure polyédrique fine très développée ; éléments coprogènes nombreux, en partie faits avec les matériaux de l'horizon supérieur. Compacité forte. Porosité assez faible. Limite inférieure graduelle et régulière.

Echantillons : C = 25-33 cm

D = 36-44 cm

50-100 cm : Rouge (2,5 YR 5/6). Enracinement assez faible. Moins argileux. Très caillouteux. Très humide. Structure polyédrique fine bien développée.

Echantillons : E = 50-60 cm = sol

F = 50-60 cm = pélite.

Au-dessous de 100 cm : Passage progressif aux flyschs pélitiques à bancs finement gréseux. Pénétration profonde de l'argile rouge (2,5 YR 4/6).

Echantillons : G = 300 cm = pélite grossière

H = 300 cm = pélite fine

Ech.	Prof. (cm)	T.F. (%)	Granulométrie (%)					Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		
			A	L	STF	SF	SG	T	L	L/T
A	1- 8	61,0	30,3	11,0	10,0	8,1	40,6			
B	15-22	53,6	60,1	15,0	5,5	1,6	17,8	7,3	5,7	0,78
C	25-33	68,2	53,6	8,0	4,8	4,0	29,6	6,9	5,5	0,80
D	36-44	53,1	47,6	12,7	4,0	5,7	30,0	7,9	5,7	0,72
E	50-60	34,4	58,1	8,0	11,7	3,5	18,7			
G	300							12,8	7,3	0,57
H	300							5,5	2,6	0,47

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E.A. (‰)	Complexe adsorbant meq/100 g					
		Eau	KCl		Ca	Mg	Na	K	S	T
A	0,15	7,7	7,4	0,7	20,4	7,2	0,75	0,87	29,22	30,2
B	0,1	7,7	6,4	0,4	18,0	5,6	0,86	0,43	24,89	25,2
C	0,1	7,6	6,0	0,4	22,0	2,0	0,84	0,98	25,82	26,2
D	0,1	7,4	6,0	0,5	18,4	3,2	0,86	0,43	22,89	22,0
E	0,1	7,3	6,5	0,5	19,6	2,0	0,81	0,38	22,79	22,0

Ech.	Matières organiques (‰)				Matières humiques en C (%)							
					AH							
	T	C	N	C/N	T	AF	T	B (%)	I (%)	G (%)	AF/AH	Ch/Ct
A	56,0	32,5	2,2	14,8	8,16	3,66	4,50	35,0	11,5	53,5	0,81	0,25
B	24,3	14,1	1,2	11,7	1,72	0,67	1,05	42,5	16,0	41,5	0,64	0,12
C	18,2	10,6	0,8	13,3								
D	16,4	9,5	0,8	11,9	1,03	0,32	0,71	54,2	8,8	37,0	0,45	0,11
E	13,9	8,1	0,9	9,0								

## FICHE DE PROFIL N° 36

Profil n° : 30-4-68-4

Climat : Méditerranéen subhumide, environ 550 mm.

Classification : Sol fersiallitique, brun méditerranéen, hydromorphe à pseudo-gley, sur flysch pélitique du Primaire.

Site : Versant SW ; pente de 35% ; drainage faible ; érosion moyenne.

Alfisol : haploxeralf aquic et mollic.

Végétation : Matorral très dégradé.

Différenciation pédologique : Profil textural très différencié ; non calcaire ; At clair.

Utilisation : Pâturage.

Localisation : Chaîne des Bni Snassène ; point 37-38 (34°51' N 2° 20' W) ; altitude : 730 m.

Surface : Caillouteux.

## Description du sol :

0-25 cm : Brun foncé (7,5 YR 3,5/2) puis brun-rouge (5 YR 3,5/4). Organique ; enracinement important. Limoneux. Très caillouteux. Structure grumeleuse, à tendance nuciforme en surface ; bien développée ; assez massive et dure à l'état sec. Limite inférieure distincte et régulière.

Echantillons : A = 0-6 cm

B = 13-25 cm

25-55 cm : Brun-rouge (5 YR 5/4) à rouge jaunâtre (5 YR 5/6). Enracinement important. Limono-argileux. Très caillouteux. Structure polyédrique fine bien développée. Limite inférieure distincte et régulière.

Echantillons : C = 33-42 cm

D = 45-55 cm

55-95 cm : Brun-jaunâtre, taches jaunes, grises et rouges : pseudo-gley. Enracinement moyen. Argileux. Très caillouteux. Structure polyédrique fine. Limite inférieure graduelle et irrégulière.

Echantillon : E = 55-95 cm.

95-120 cm : Flyschs pélitiques à bancs finement gréseux. Très altérés, très hydromorphes : ils sont très friables et la couleur dominante est le gris. La structure de la roche est visible mais les stratifications sont courbées par le glissement du sol sur la pente. La terre fine est argileuse.

Echantillon : F = 105-115 cm.

Au-dessous de 120 cm : Flyschs pélitiques de moins en moins altérés et hydromorphes avec la profondeur. Les racines pénètrent jusqu'à 200 cm et plus.

Echantillons : G = 180 cm = pélite grossière

H = 180 cm = pélite fine

Ech.	Prof. (cm)	T.F. (%)	Granulométrie (%)					Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		
			A	L	STF	SF	SG	T	L	L/T
A	0- 6	70,8	19,5	29,0	19,0	13,5	19,0	5,8	4,9	0,85
B	13- 25	73,6	17,4	32,5	14,6	11,8	23,7	6,0	5,2	0,87
C	33- 42	68,8	26,5	20,3	4,4	5,2	43,6	7,8	6,8	0,87
D	45- 55	69,7	27,4	16,7	7,6	6,5	41,8	7,2	6,0	0,83
E	65- 75	64,3	48,1	20,4	8,8	4,9	17,8	4,7	3,7	0,79
F	105-115	75,0	40,3	19,5	6,7	4,0	29,5	9,2	5,1	0,55
G	180							3,3	2,3	0,70
H	180									

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E.A. (‰)	Complexe adsorbant meq/100 g					
		Eau	KCl		Ca	Mg	Na	K	S	T
A	0,15	7,5	7,0	0,9	17,6	2,0	1,31	0,19	21,10	21,0
B	0,1	7,6	6,1	0,4	10,8	2,8	0,38	0,59	14,57	15,2
C	0,1	7,7	6,1	0,3	10,8	3,2	0,40	0,43	14,83	14,2
D	0,0	7,5	6,1	0,2	9,6	4,4	0,43	0,20	14,63	14,7
E	0,0	7,5	6,0	0,3	12,4	6,0	0,45	0,21	19,06	19,0
F	0,0	7,8	6,2	0,3	14,0	6,0	0,80	0,18	20,98	19,7

Ech.	Matières organiques (‰)				Matières humiques en C (%)							
	T	C	N	C/N	T	AF	AH				AF/AH	Ch/Ct
							T	B (%)	I (%)	G (%)		
A	72,6	42,2	1,8	23,4	6,48	1,55	4,93	42,0	10,0	48,0	0,31	0,15
B	20,8	12,1	1,1	11,0	2,60	0,47	2,13	24,0	12,5	63,5	0,22	0,21
C	8,1	4,7	0,5	9,4	0,39	0,17	0,22	24,3	14,3	61,4	0,77	0,08
D	5,6	3,3	0,6	5,5	0,63	0,03	0,60	32,5	8,0	59,5	0,05	0,19
E	5,6	3,3	0,8	4,1								
F	5,6	3,3	0,7	4,7								

## FICHE DE PROFIL N° 37

*Profil n°* : 29-4-68-1*Climat* : Méditerranéen subhumide ; environ 600 mm.*Classification* : Sol fersiallitique, rouge méditerranéen, lessivé, hydromorphe et encroûté, sur grès siliceux à lits d'argile du Malm.  
Alfisol : Palixeralf typic.*Site* : Versant SW ; pente de 30% ; drainage moyen ; érosion assez forte.*Végétation* : Plantation de pins.*Différenciation pédologique* : Profil textural très différencié ; profil calcaire très différencié ; Aca non calcaire ; At clair.*Utilisation* : Plantation de pins.*Surface* : Très peu caillouteux.*Localisation* : Chaîne des Bni Snassène ; Taforalt (34° 48' N, 2° 24' W) ; altitude : 850 m.*Description du sol :*

0-25 cm : Brun-rouge (5 YR 4/6) plus rouge en profondeur.

Faiblement organique ; enracinement important. Non calcaire. Limono-sableux, les taux d'argile augmentant un peu en profondeur ; quelques cailloux de grès altérés surtout à la base. Structure polyédrique à nuciforme peu développée ; tendance lamellaire en surface ; massive et dure à l'état sec. Éléments coprogènes peu nombreux. Porosité bonne. Limite inférieure abrupte et régulière.

Echantillons : A = 1-7 cm

B = 10-15 cm

25-100 cm : Rouge (2,5 YR 4/6). Enracinement important.

Non calcaire. Limono-argilo-sableux, les taux d'argile augmentant avec la profondeur ; quelques cailloux de grès altérés surtout à la base et au sommet. Revêtements argileux assez peu nombreux. Structure polyédrique moyenne à grossière, assez peu développée ; elle est mieux développée en profondeur. Éléments coprogènes peu nombreux. Pénétration entre les agrégats des éléments de l'horizon supérieur. Porosité assez bonne. Limite inférieure distincte et régulière.

Echantillons : C = 40-48 cm

D = 70-78 cm

100-150 cm : Brun pâle (10 YR 6/3) à taches rouges (10 R

3,5/6) et grises (2,5 Y 7/2) : pseudo-gley. Revêtements organiques sur les agrégats. Enracinement faible et en mauvais état. Non calcaire. Argilo-sableux ; quelques cailloux de grès très altéré. Revêtements argileux peu nombreux. Structure polyédrique moyenne bien développée. Porosité moyenne. Limite inférieure distincte et régulière.

Echantillon : E = 105-115 cm.

150-165 cm : Moins hydromorphe ; plus rouge. Cailloux de

grès plus nombreux. Structure plus arrondie. Limite inférieure abrupte et un peu irrégulière. Echantillon : F = 155-162 cm.

165-200 cm : Cailloutis de grès altéré. Localement, c'est légèrement calcaire.

Au-dessous de 200 cm : Grès et argile, altérés et fortement enrichis en calcaire ; présence d'encroûtement massif et de croûte feuilletée, calcaires.

Echantillons : G = 220 cm = croûte calcaire

H = 250 cm = grès altéré

K = 250 cm = argile encroûtée

I = grès siliceux

J = argile verte



Ech.	Prof. (cm)	T.F. (%)	Granulométrie (%)					Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		
			A	L	STF	SF	SG	T	L	L/T
A	1- 7	95,6	9,0	9,5	8,2	71,7	1,6			
B	10- 15	97,3	12,3	8,6	7,6	69,7	1,8	1,4	1,1	0,79
C	40- 48	99,0	27,2	7,3	8,5	54,9	2,1			
D	60- 78	99,6	31,8	7,4	6,3	53,4	1,1	3,2	2,3	0,72
E	105-115	99,7	38,9	5,2	5,5	49,8	0,6	3,4	2,2	0,65
F	155-162	99,4	36,2	0,8	6,3	56,4	0,3	2,0	1,3	0,65
G	220									
H	250									
K	250							0,9	0,5	0,56

Ech.	Calcaire (%)	pH		Complexe adsorbant meq/100 g					
		Eau	KCl	Ca	Mg	Na	K	S	T
A	0,15	8,2	7,5	6,5	0,4	0,21	0,28	7,39	7,5
B	0,1	8,0	7,4	6,0	1,6	0,3	0,29	8,19	8,0
C	0,15	8,0	7,0	7,6	1,6	0,38	0,47	10,05	10,5
D	0,1	8,1	6,8	8,0	4,0	0,45	0,36	12,81	12,0
E	0,1	8,0	6,6	10,0	5,2	0,53	0,38	16,11	16,5
F	0,1	7,9	6,7	13,6	4,0	1,1	0,26	18,96	18,7
G	55,5	8,3	7,9						
H	26,1	8,7	8,0						
I	0,0								
J	0,0								

Ech.	Matières organiques (‰)				Matières humiques en C (%)							
	T	C	N	C/N	T	AF	AH				AF/AH	Ch/Ct
							T	B (%)	I (%)	G (%)		
A	6,5	3,8	0,3	12,7	0,69	0,37	0,32	36,0	9,5	54,5	1,16	0,18
B	5,5	3,2	0,3	10,7	0,43	0,06	0,37	49,5	10,5	40,0	0,16	0,13
C	5,5	3,2	0,3	10,7	0,28	0,02	0,26	46,4	13,6	40,0	0,08	0,09
D	4,1	2,4	0,3	8,0								
E	4,3	2,5	0,4	6,25								
F	3,6	2,1	0,3	7,0								

## FICHE DE PROFIL N° 38

Profil n° : 14-I-64-3

Climat : Méditerranéen semi-aride, environ 400-450 mm.

Classification : Sol calcomagnésimorphe, rendzinforme, rendzine à horizons : sol brun calcaire, sur marne encroûtée du Malm.  
Mollisol : calcixeroll typic.

Site : Versant E ; pente de 40% ; drainage moyen ; érosion assez forte.

Végétation : Matorral très dégradé.

Différenciation pédologique : Profil textural moyennement différencié ; profil calcaire très différencié ; Aca calcaire ; At sombre.

Utilisation : Pâturage.

Localisation : Chaîne des Bri Snassène ; point 53 (34° 49' N, 2° 31' W) ; altitude : 510 m.

Surface : Peu caillouteux.

## Description du sol :

0-25 cm : Brun foncé, plus clair en profondeur. Enracinement bien développé. Très calcaire. Limono-argilo-sableux à limono-argileux. Structure très développée, grenue à grumeleuse, fine, devenant polyédrique en profondeur. Éléments coprogènes. Limite inférieure graduelle et régulière.  
Echantillons : A = 0-7 cm  
B = 10-17 cm  
C = 17-23 cm

25-50 cm : Plus clair. Plus calcaire. Limono-argileux. Structure fine, moins bien développée, polyédrique. Présence d'agrégats anguleux de marne verte. Limine inférieure distincte et irrégulière.  
Echantillons : D = 28-37 cm  
E = 40-46 cm

Au-dessous de 50 cm : Marne verte, altérée, fortement encroûtée. Structure polyédrique fine.  
Echantillons : F = 52-58 cm  
G = 65-75 cm

Ech.	Prof. (cm)	T.F. (%)	Granulométrie (%)					Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				L/T
								T. tot.		T. n. calc.		
			A	L	STF	SF	SG	T	L	T	T	
A	0- 7	80,0	25,0	12,0	14,2	33,4	15,4	2,64	0,96	3,68	1,34	0,36
B	10-17	87,1	28,4	15,6	10,5	30,9	14,6	2,36	1,02	3,49	1,51	0,43
C	17-23	85,0	29,6	20,3	11,9	25,9	12,3	2,40	0,98	3,50	1,43	0,41
D	28-37	87,5	35,2	32,9	11,5	14,3	6,1	2,52	0,76	5,02	1,51	0,30
E	40-46	90,7	31,0	35,6	12,1	14,0	7,3	1,70	0,56	3,91	1,29	0,33
F	52-58	87,8	34,7	38,3	13,0	8,0	6,0	2,24	0,44	3,93	0,77	0,20
G	65-75	93,1	25,3	36,4	16,0	15,0	7,3	1,36	0,34	3,43	0,86	0,25

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E. A. (‰)	Matières organiques (‰)			
		Eau	KCl		T	C	N	C/N
A	28,2	8,05	7,25	0,8	53,2	30,9	1,8	17,1
B	32,4	8,1	7,35	0,8	28,6	16,6	1,5	11,1
C	31,5	8,15	7,35	0,8	22,8	13,3	1,5	8,9
D	49,8	8,45	7,5	0,75	14,3	8,3	1,0	8,3
E	56,5	8,5	7,6	0,65	11,7	6,8	1,0	6,8
F	43,0	8,5	7,45	0,7	11,7	6,8	1,0	6,8
G	60,7	8,6	7,7	0,65	10,7	6,2	0,7	8,9

## FICHE DE PROFIL N° 39

Profil n° : 30-4-68-2

Climat : Méditerranéen semi-aride ; environ 500 mm.

Classification : Sol calcomagnésimorphe, rendziniforme, rendzine à horizons, encroûté, sur colluvions calcaires du Quaternaire et dolérite du Trias.  
Mollisol : calcixeroll petrocalcic.

Site : Versant SW ; pente de 40% ; drainage bon ; érosion faible.

Différenciation pédologique : Profil textural moyennement différencié ; profil calcaire très différencié ; Aca calcaire ; At sombre.

Végétation : Matorral très dégradé.

Utilisation : Pâturage.

Localisation : Chaîne des Bni Snassène ; point 33 (34° 51' N, 2° 21' W) ; altitude : 600 m.

Surface : Caillouteux.

## Description du sol :

0-20 cm : Brun à brun-rouge foncé (5 à 7,5 YR 3/2). Organique. Enracinement important. Calcaire. Limono-argileux. Caillouteux : cailloux émoussés de calcaire compact. Structure fine très développée, grumeleuse et grenue. Éléments coprogènes nombreux. Limite inférieure diffuse.

Echantillons : A = 1-10 cm

B = 15-20 cm

20-50 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 5/6 à 4/8) en surface devenant brun en profondeur (7,5 YR 5/6). Enracinement moins important. Très calcaire. Limono-argileux. Caillouteux : les cailloux ne sont plus du calcaire compact mais des nodules de dalle calcaire rose (2,5 YR 6/6) qui contiennent des morceaux de dolérite altérée, verte. Structure peu développée, à tendance continue. Poches d'éléments coprogènes brun foncé. Limite inférieure abrupte et ondulée.

Echantillons : C = 28-42 cm

D = nodules

Au-dessous de 50 cm : Encroûtement calcaire. Au sommet, pellicule rubanée de 1 à 2 cm d'épaisseur. Puis croûte, assez durcie vers le haut, rosée, feuilletée : 10 à 30 cm d'épaisseur. Puis encroûtement massif, dur, gris clair (2,5 Y 7/2) à brun très pâle (10 YR 8/3) : de 50 à 100 cm d'épaisseur. Cet encroûtement se développe dans un cailloutis de dolérite altérée. En profondeur, on passe progressivement à la dolérite en place, plus ou moins altérée. L'encroûtement calcaire y pénètre plus ou moins profondément, le long des diaclases.

Echantillons : H = 50-52 cm = pellicule rubanée

E = 52-56 cm = croûte dure

F = 56-60 cm = croûte plus tendre

I = 110-120 cm = encroûtement massif

J = 160-170 cm = encroûtement massif

K = 220 cm = dolérite altérée

Ech.	Prof. (cm)	T.F. (%)	Granulométrie (%)					Granulométrie terre décarbonatée (%)				
			A	L	STF	SF	SG	A	L	STF	SF	SG
A	1- 10	67,4	31,9	31,4	13,5	13,9	9,3	18,6	37,0	22,5	11,6	10,3
B	15- 20	65,0	37,4	32,4	10,9	10,3	9,0	53,0	13,4	16,5	11,5	5,6
C	28- 42	73,2	27,9	32,8	11,3	13,1	14,9	55,4	21,8	10,9	8,0	3,9
H	50- 52											
E	52- 56											
F	56- 60											
I	110-120											
J	160-170											

Ech.	Calcaire (%)	pH		Complexe adsorbant meq/100 g						
		Eau	KCl	Ca	Mg	Na	K	S	T	
A	8,5	7,9	7,4	26,0	4,8	0,91	0,56	32,27	31,5	
B	22,5	7,9	7,5	31,5	1,0	0,7	0,37	33,57	32,5	
C	58,9	8,1	7,9	22,4	0,4	0,65	0,45	23,9	22,5	
D	77,5									
H	93,1									
E	75,0									
F	70,0									
I	68,7									
J	77,6									

Ech.	Matières organiques (‰)				Matières humiques en C (%)							
					T	AF	AH				AF/AH	Ch/Ct
	T	C	N	C/N			T	B (%)	I (%)	G (%)		
A	166,8	97,0	3,6	26,9	15,0	5,48	9,52	34,6	13,0	52,4	0,58	0,15
B	88,3	51,0	2,2	23,2	10,2	6,3	3,9	28,4	14,8	56,8	1,62	0,20
C	22,2	12,9	1,0	12,9								

## FICHE DE PROFIL N° 40

Profil n° : 23-9-63-3

Climat : Méditerranéen semi-aride ; environ 400-450 mm.

Classification : Sol calcomagnésimorphe, rendziniforme, rendzine à horizons, encroûté, sur colluvions calcaires du Quaternaire.  
Mollisol : calcixeroll typic.

Site : Versant NW ; pente de 35% ; drainage bon, érosion faible.

Différenciation pédologique : Profil textural moyennement différencié ; profil calcaire très différencié ; Aca calcaire ; At sombre.

Végétation : Matorral très dégradé.

Localisation : Chaîne des Bni Snassène ; point 20 (34° 51' N, 2° 22' W) ; altitude : 400 m.

Utilisation : Pâturage.

Surface : Caillouteux.

## Description du sol :

0-32 cm : Gris très foncé en surface (5 YR 3/1), devenant progressivement brun-rouge en profondeur (5 YR 3/3). Organique. Enracinement important. Très calcaire. Limoneux en surface ; limono-argileux en profondeur. Très caillouteux : cailloux émoussés de calcaire compact. Structure fine, très bien développée, grumeleuse et grenue ; devenant plus anguleuse en profondeur. Éléments coprogènes nombreux. Limite inférieure distincte et régulière.

Echantillons : A = 0-7 cm  
B = 7-22 cm  
C = 22-32 cm

Au-dessous de 32 cm : Encroûtement massif, rose au sommet, devenant progressivement plus blanc vers le bas. Peu durci. Très caillouteux, surtout vers le bas : cailloux anguleux de calcaire compact. Enracinement assez important. Cet encroûtement se poursuit sur plus de 150-200 cm d'épaisseur. Latéralement son sommet passe à la croûte feuilletée.

Echantillons : D = 40-50 cm  
E = 70-80 cm

Ech.	Prof. (cm)	T.F. (%)	Granulométrie (%)					Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				L/T
			A	L	STF	SF	SG	T. tot.		T. n. calc.		
								T	L	T	L	
A	0- 7	56,9	23,0	26,0	10,0	13,0	28,0	3,86	1,92	5,47	2,72	0,50
B	7-22	80,3	37,3	24,8	15,7	10,5	11,7	4,42	2,14	5,50	2,67	0,48
C	22-32	64,3	37,6	25,7	12,4	9,3	15,0	4,28	2,20	6,17	3,17	0,51
D	40-50	87,8	38,3	19,6	10,5	10,2	21,4					
E	70-80	76,9	11,0	15,6	11,8	13,5	48,1					

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E.A. (‰)	Complexe adsorbant meq/100 g						Matières organiques (‰)			
		Eau	KCl		Ca	Mg	Na	K	S	T	T	C	N	C/N
A	29,4	8,2	7,45	0,55	16,0	4,0	1,2	0,8	22,0	22,0	83,9	48,7	2,7	18,0
B	19,7	8,3	7,35	0,55	10,0	2,0	1,4	0,7	14,1	14,0	73,7	42,8	3,0	14,3
C	30,6	8,4	7,3	0,45	6,0	3,0	1,0	0,5	10,5	10,0	42,3	24,6	1,8	13,7
D	73,6	8,55	7,7	0,50							15,6	9,1		
E	88,5	8,8	7,15	0,70							12,1	7,0		

## FICHE DE PROFIL N° 41

Profil n° : 28-10-63-4

Climat : Méditerranéen semi-aride ; environ 450-500 mm.

Classification : Sol calcomagnésimorphe, rendzini-forme, rendzine à horizons, encroûté, sur colluvions calcaires du Quaternaire, peu calcaire en surface. Mollisol : calcixeroll typic.

Site : Versant SW ; pente de 45 % ; drainage bon ; érosion faible.

Végétation : Matorral très dégradé.

Différenciation pédologique : Profil textural moyennement différencié ; profil calcaire très différencié ; Aca calcaire ; At sombre.

Utilisation : Pâturage.

Surface : Caillouteux.

Localisation : Chaîne des Bni Snassène ; point 32 (34° 51' N, 2° 21' W) ; altitude : 550 m.

## Description du sol :

0-55 cm : Brun-rouge foncé (2,5 à 5 YR 3/2), devenant plus clair en profondeur, à partir de 30-35 cm. Organique. Enracinement important. Un peu calcaire ; très calcaire au-delà de 35 cm. Finement limono-argileux ; c'est moins argileux tout à fait en surface et au-delà de 35 cm. Caillouteux : cailloux émoussés de calcaire compact. Structure fine très développée, grumeleuse et grenue en surface, plus polyédrique en profondeur. Eléments

coprogènes nombreux. Limite inférieure diffuse.

Echantillons : A = 0-6 cm

B = 7-13 cm

C = 14-22 cm

D = 23-36 cm

E = 40-52 cm

Au-dessous de 55 cm : Encroûtement massif, très caillouteux : cailloux anguleux de calcaire compact. Enracinement assez faible. Latéralement, le sommet de cet encroûtement passe à de la croûte feuilletée.

Ech.	Prof. (cm)	T.F. (%)	Granulométrie (%)					Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)				L/T
								T. tot.		T. n. calc.		
			A	L	STF	SF	SG	T	L	T	L	
			A	0- 6	89,4	25,7	31,0	28,2	10,3	4,8	5,16	
B	7-13	89,0	39,3	25,7	22,0	9,4	3,6	5,55	3,14	5,72	3,24	0,57
C	14-22	86,0	38,2	31,3	18,4	9,5	2,6	5,70	3,26	5,77	3,30	0,57
D	23-36	80,0	29,1	30,2	16,5	9,2	15,0	5,91	3,34	6,10	3,45	0,57
E	40-52	50,0	37,0	20,5	23,0	9,8	9,7	4,54	2,40	5,80	3,07	0,53

Ech.	Calcaire (%)	pH		Sels tot. E.A. (‰)	Complexe adsorbant meq/100 g						Matières organiques (‰)			
		Eau	KCl		Ca	Mg	Na	K	S	T	T	C	N	C/N
A	2,8	8,1	7,2	1,05	30,0	3,0	0,75	0,45	34,2	35,0	118,7	68,9	5,0	13,8
B	3,05	8,1	7,1	0,8	23,0	3,0	2,15	0,8	28,95	30,0	66,2	38,4	3,8	10,1
C	1,2	8,05	7,0	0,8	28,0	4,0	1,7	0,55	34,25	35,0	63,4	36,8	3,0	12,3
D	3,1	8,15	7,05	0,8	25,0	5,0	1,9	0,65	32,55	33,0	42,3	24,6	2,7	9,1
E	21,7	8,35	7,35	0,7	26,2	4,0	1,2	0,6	32,0	32,0	31,4	18,2	2,2	8,3

## FICHE DE PROFIL N° 42

Profil n° : 3-5-68-4

Climat : Méditerranéen subhumide ; environ 600 mm.

Classification : Sol peu évolué, d'origine climatique : ranker, sur granite calco-alcalin du Primaire.  
Entisol : xerorthent typic.

Site : Versant NW ; pente de 50% ; drainage bon ; érosion forte.

Différenciation pédologique : Profil textural non différencié ; non calcaire.

Végétation : Forêt dégradée de chênes verts.

Utilisation : Pâturage.

Localisation : Chaîne des Bni Snassène ; point III c (34° 51' N, 2° 13' W) ; altitude : 1 250 m.

Surface : Peu caillouteux.

## Description du sol :

1-12 cm : Brun foncé au sommet (7,5 YR 3/2) ; brun à brun-rouge à la base (7,5 à 5 YR 4/4). Très riche en matière organique assez mal mélangée à la matière minérale. Limono-sableux. Structure nu-ciforme peu développée. Sous-structure particulaire et grumeleuse. Limite inférieure distincte et régulière.

Echantillons : A = 2- 9 cm  
B = 9-14 cm

12-70 cm : Arène granitique colluvionnée sur la pente. Morceaux de granite altéré. Brun (7,5 YR 5/4) ; un peu plus rose entre 12 et 25 cm. Limite inférieure distincte et irrégulière.

Echantillons : C = 16-21 cm  
D = 25-32 cm  
E = 40-50 cm

70-130 cm : Lits alternés de granite altéré et d'arène : zone de glissement de l'arène et de la roche altérée. Limite inférieure distincte et irrégulière.

Echantillon : F = 105 cm.

Au-dessous de 130 cm : Granite altéré. Quelques fentes plus ou moins horizontales et remplies d'arène. Le système racinaire des arbres vient se développer jusque dans ces fentes.

Echantillon : G = 150 cm.

Ech.	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					pH		Complexe adsorbant meq/100 g					
		A	L	STF	SF	SG	Eau	KCl	Ca	Mg	Na	K	S	T
A	2- 9	10,1	15,7	9,6	19,6	45,0	7,0	6,4	28,0	5,6	0,47	0,63	34,70	33,0
B	9-14	7,0	10,5	14,3	17,3	50,9	6,6	4,9	4,6	2,2	0,05	0,4	7,25	9,7
C	16-21	5,0	6,3	4,8	14,2	69,7	6,7	4,2	2,8	1,4	0,1	0,35	4,65	6,2
D	25-32	4,6	3,5	7,3	16,1	68,5	6,8	5,3	3,0	0,2	0,21	0,31	3,72	4,2
E	40-50	5,0	5,7	4,5	13,8	71,0	6,8	5,9	1,4	0,2	0,15	0,21	1,96	2,7
F	105	3,5	3,8	2,3	13,1	77,3	7,8	6,0						
G	150	2,5	2,5	3,5	12,9	78,6	7,6	5,7						

Ech.	Matières organiques (‰)				Matières humiques en C (%)							
	T	C	N	C/N	T	AF	AH				AF/AH	Ch/Ct
							T	B (%)	I (%)	G (%)		
A	108,0	62,8	5,04	12,4	9,51	2,69	6,85	39,5	13,5	47,0	0,39	0,15
B	22,8	13,3	1,15	11,5	2,99	1,22	1,76	34,5	14,5	51,0	0,69	0,22
C	10,5	6,1	0,45	13,5								
D	5,5	3,2	0,42	7,6								
E	4,5	2,6	0,38	6,8								

---

# Bibliographie

- AUBERT (G.) — 1947 — « Les sols à croûte calcaire. » Conf. Pédol. médit., Montpellier-Alger, pp. 330-332.
- AUBERT (G.) — 1960 — « Les sols de la zone aride : étude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation. » *In* : « Les problèmes de la zone aride. Actes du colloque de Paris, Unesco. » Recherches sur la zone aride, XVIII, pp. 127-150.
- AUBERT (G.) — 1963 — « La classification des sols ; la classification pédologique française. » *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 3, pp. 1-7.
- AUBERT (G.) — 1964 — « La classification des sols utilisée par les pédologues français en zone tropicale ou aride. » *Sols afr.*, IX, 1, 3, pp. 97-105.
- AUBERT (G.) — 1965 a — « Classification des sols. » *O.R.S.T.O.M., multigr.*, 18 p.
- AUBERT (G.) — 1965 b — « La classification pédologique utilisée en France. » *Pédologie*, Gand, n° spécial 3 sur la classification des sols, pp. 25-56.
- AVENARD (J. M.) — 1965 — « L'érosion actuelle dans le bassin du Sebou. » *I.N.R.A., Rabat, multigr.*, 114 p.
- BEAUDET (G.) et MATHEZ (J.) — 1965 — « Observations sur l'évolution de quelques versants du Plateau Central marocain. » *Rev. Géogr. Maroc*, 7, pp. 71-94.
- BEAUDET (G.) — 1966 — « Le cadre géomorphologique de la pédogenèse au Maroc. » *In* : « Congrès de Pédologie méditerranéenne. Excursion au Maroc. Livret-Guide. » *Cah. Rech. agron.*, 24, pp. 1-26.
- BEAUDET (G.), MAURER (G.), RUELLAN (A.) — 1967 — « Le Quaternaire marocain : observations et hypothèses nouvelles. » *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, IX, 4, pp. 269-309.
- BEAUDET (G.) — 1969 a — « Le Plateau Central marocain et ses bordures. Etude géomorphologique. » Thèse Lettres, Paris, Inframar, Rabat, 480 p.
- BEAUDET (G.) — 1969 b — « Le Quaternaire marocain ; état des études. » *Fiches d'auteurs et annotations bibliographiques regroupées avec la collaboration de RUELLAN (A.), Comm. 8<sup>e</sup> Congr. I.N.Q.U.A., Paris, multigr.*, 168 p.



- BENABDALLAH (A.) — 1952 — « Etude géologique et métallogénique de la partie orientale du massif des Bni Snassène (Maroc oriental). » *Rapp. Serv. Et. Gîtes minér.*, Rabat, n° 321.
- BIBERSON (P.) — 1958 — « Essai de classification du Quaternaire marin du Maroc atlantique. » *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 3-4, pp. 67-70.
- BIBERSON (P.) — 1961 — « Le cadre paléogéographique de la Préhistoire du Maroc atlantique. » *Publ. Serv. Antiquités Maroc*, 16, 235 p.
- BIBERSON (P.) — 1964 — « Quelques précisions sur les classifications du Quaternaire marocain. » *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7, V, 4, pp. 607-616.
- BILLAUX (P.), BRYSSINE (G.) — 1966 — « Les sols du Maroc. » In : « Congrès de Pédologie méditerranéenne. Excursion au Maroc. Livret-Guide. » *Cah. Rech. agron.*, 24, pp. 59-101.
- BIROT (P.), DRESCH (J.) — 1964 — « La Méditerranée et le Moyen-Orient, t. I. La Méditerranée occidentale. » P.U.F., Paris, VIII, 552 p.
- BLOCKHUIS (W. A.), PAPE (Th.), SLAGER (S.) — 1968-1969 — « Morphology and distribution of pedogenic carbonate in some vertisols of the Sudan. » *Geoderma*, 2, pp. 173-200.
- BLOT (A.), PEDRO (G.) — 1967 — « Etude des relations entre la composition granulométrique et la constitution minéralogique des sols et horizons d'altération. » *Ann. agron.*, 18, 2, pp. 203-216.
- BOCQUIER (G.) — 1967 — « Introduction à quelques problèmes relatifs au lessivage dans les sols ferrugineux tropicaux. » Réun. Péd. O.R.S.T.O.M., Bondy, *multigr.*, 13 p.
- BOULAIN (J.) — 1957 — « Etude des sols des plaines du Chélif. » Thèse Sci., Alger, *Serv. Et. Scient.*, Alger, 582 p.
- BOULAIN (J.) — 1958 — « Sur la formation des carapaces calcaires. Accumulation de carbonates et de sulfates dans des sols bien drainés. » *Publ. Serv. Carte géol. Algérie (nouv. sér.)*, 20, pp. 7-19.
- BOULAIN (J.) — 1960 — « Sur quelques sols rouges à carapace calcaire. » *Bull. Ass. fr. Et. Sol*, 3, pp. 130-134.
- BOULAIN (J.) — 1961 a — « Sur le rôle de la végétation dans la formation des carapaces calcaires méditerranéennes. » *C. R. Ac. Sci.*, 253, pp. 2568-2570.
- BOULAIN (J.) — 1961 b — « Facteurs de formation des sols méditerranéens. » *Sols afr.*, VI, 2 et 3, pp. 249-272.
- BOULAIN (J.), L'HERMITTE (J.-P.) — 1963 — « Sur les sols noirs à carapaces calcaires formés sous climat xérothérique. » *Ann. Centre Rech. Exp. forest.* Alger, 2, pp. 5-8.
- BOULAIN (J.) — 1966 — « Sur les relations entre les carapaces calcaires et les sols isohumiques de climat xérothérique. » *Science du sol*, 1, pp. 3-14.
- BREWER (R.) — 1964 — « Fabric and mineral analysis of soils. » John Wiley and Sons Inc., 470 p.
- BREWER (R.), SLEEMAN (J. R.) — 1969 — « The arrangement of constituents in Quaternary soils. » *Soil Sci.*, 107, 6, pp. 435-441.
- BRIGNON (C.), SAUVAGE (C.) — 1963 — « Carte des étages bioclimatiques. » Atlas du Maroc, sect. II, pl. 6 b ; not. explic. par C. SAUVAGE.
- BRYSSINE (G.), GILOT (F.), GRILLOT (G.), VIRELIZIER (L.) — 1946 — « Etude préliminaire des sols et des aptitudes agricoles du périmètre irrigable des Triffa. » S.R.A.E.A., *multigr.*, 55 p.
- BRYSSINE (G.) — 1949 — « Les facteurs climatiques de la pédogenèse au Maroc. » *Cah. Rech. agron.*, 2, pp. 43-71.
- BRYSSINE (G.) — 1954 — « Typologie des sols du Maroc. » *Soc. Sci. nat. phys. Maroc, Trav. Sect. Pédol.*, 8-9, pp. 89-128.
- BUOL (S. W.) — 1965 — « Present soil-forming factors and processus in arid and semiarid regions. » *Soil Sci.*, 99, 1, pp. 45-49.
- CAVALLAR (W.) — 1950 a — « Etude des sols des différentes régions du Maroc. » *Soc. Sci. nat. phys. Maroc, Trav. Sect. Pédol.*, 1, pp. 19-45.
- CAVALLAR (W.) — 1950 b — « Esquisse préliminaire de la carte des sols du Maroc. » Carte à 1/1 500 000, *Serv. Rech. agron.* Rabat.
- CHAUVEL (A.), MONNIER (G.) — 1967 — « Sur la signification générale de l'analyse granulométrique en pédologie ; examen des problèmes posés par la caractérisation de la texture de certains sols tropicaux. » *C. R. Ac. Sci.*, Paris, 264, D, pp. 1969-1972.
- CHAUVEL (A.), PEDRO (G.) — 1967 — « Considérations sur l'analyse granulométrique et le problème de la détermination de la constitution minéralogique élémentaire de certains sols tropicaux ; nécessité et limites de la déferrification. » *C. R. Ac. Sci.*, Paris, 264, D, pp. 2089-2092.
- CHEVRON-VILETTE (A. de) — 1954 — « Notes sur la géologie et la morphologie de la région des Triffa. » O.R.S.T.O.M.-D.M.V.G.R., *multigr.*, 52 p.
- CHEVRON-VILETTE (A. de) — 1956 — « Note sur les sols des Triffa. » O.R.S.T.O.M.-D.M.V.G.R., *multigr.*, 20 p.
- CHOUBERT (G.) — 1948 — « Au sujet des croûtes calcaires quaternaires. » *C. R. Ac. Sci.*, Paris, 226, pp. 1630-1631.
- CHOUBERT (G.), MARCAIS (J.), SUTER (G.) — 1954 — « Carte géologique du Maroc au 1/500 000 ; feuille Oujda. » *Div. Mines et Géol., Serv. Géol.*, Rabat (couleurs).
- CHOUBERT (G.), FAURE-MURET (A.) — 1955 — « Hypothèses sur l'origine de l'accumulation des limons rouges et des encroûtements. » *Note Serv. Géol.*, Rabat, 13, pp. 39-63.
- CHOUBERT (G.), FAURE-MURET (A.) et coll. — 1956 — « Lexique stratigraphique du Maroc. » *Notes et Mém. Serv. Géol.*, Rabat, 134, 165 p.
- CHOUBERT (G.), JOLY (F.), GIGOUT (M.), MARCAIS (J.), MARGAT (J.), RAYNAL (R.) — 1956 — « Essai de classification du Quaternaire continental du Maroc. » *C. R. Ac. Sci.*, Paris, 243, pp. 504-506.
- CHOUBERT (G.) — 1957-1965 — « Essai de corrélation des formations continentales et marines du Pleistocène au Maroc. » (Comm. 5<sup>e</sup> Congr. I.N.Q.U.A., Madrid-Barcelone, 1957.) *Notes Serv. Géol. Maroc*, 185, 25, pp. 9-28.

- CHOUBERT (G.) — 1961 — « Compléments à la note intitulée ; essai de corrélation des formations continentales et marines du Pleistocène au Maroc. » *Biuletyn Peryglacjalny*, 10, pp. 9-29.
- CHOUBERT (G.) — 1962 — « Réflexions sur les parallélismes probables des formations quaternaires atlantiques du Maroc avec celles de la Méditerranée. » *Quaternaria*, 5, pp. 137-175.
- CHOUBERT (G.) — 1965 — « Evolution de la connaissance du Quaternaire au Maroc. » *Notes et Mém. Serv. Géol.*, Rabat, 185, pp. 9-27.
- COINTEPAS (J. P.) — 1966 — « Les sols rouges et bruns méditerranéens de Tunisie. » *Conf. Sols. médit.*, Madrid, pp. 187-194.
- COMMISSION DE PÉDOLOGIE ET DE CARTOGRAPHIE DES SOLS — 1967 — « Classification des sols. » Lab. de Péd.-Géol. de l'E.N.S.A. de Grignon, *multigr.*, 87 p.
- CONCARET (J.), MALHER (P.) — 1960 — « Note sur les paléosols du Haouz de Marrakech et leur importance agronomique. » *Soc. Sci. nat. phys. Maroc, Trav. Sect. Pédol.*, 13-14, pp. 197-202.
- CONRAD (G.), GEZE (B.), PALOC (H.) — 1967 — « Phénomènes karstiques et pseudo-karstiques du Sahara. » *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, IX, 5, pp. 357-369.
- CONRAD (G.) — 1968 — « L'évolution continentale post-hercynienne du Sahara algérien. » Thèse Sci., Paris, C.N.R.S., C.R.Z. A., sér. *Géol.*, n° 10, 527 p.
- COQUE (R.) — 1962 — « La Tunisie présaharienne. Etude géomorphologique. » Thèse Lettres, Paris, Oberthur, 476 p.
- CRAHET (M.) — 1967 — « Le pH des sols calcaires. » *Bull. Assoc. fr. Et. Sol.*, 4, pp. 17-34.
- DEREKOV (A. M.) — 1965 — « Contribution à l'étude hydrogéologique de la Basse Moulouya. » Thèse Ing. Dr., Nancy, sous presse.
- DRESCH (J.) — 1941 — « Recherches sur l'évolution du relief dans le Massif central du Grand Atlas, le Haouz et le Souss. » Thèse Lettres, Paris, Arrault, Tours, 712 p.
- DRESCH (J.), GIGOUT (M.), JOLY (F.), LE COZ (J.), RAYNAL (R.) — 1952 — « Aspects de la géomorphologie du Maroc. » *Notes et Mém. Serv. Géol.*, Rabat, 96, 182 p.
- DRESCH (J.) — 1960 — « Les changements de climat et les mouvements du sol en Afrique du Nord au Plio-Quaternaire. » *Inform. géogr.*, 3, pp. 107-113.
- DUCHAUFOR (P.) — 1965 — « Précis de pédologie. » 2<sup>e</sup> édit., Masson, Paris, 481 p.
- DUCHAUFOR (P.), JACQUIN (F.) — 1966 — « Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. » *Bull. Ec. Nat. Sup. Agr. Nancy*, VIII, 1, pp. 3-24.
- DUPONT (J. P.) — 1951 — « La classification pédologique du professeur Huguet del Villar et les sols d'Afrique du Nord. » *Soc. Sci. nat. phys. Maroc, Trav. Sect. Pédol.*, 2-3, pp. 1-14.
- DURAND (J. H.) — 1953 — « Etude géologique, hydrogéologique et pédologique des croûtes en Algérie. » Thèse Ing. Dr., Alger, *Serv. Et. Scient.*, Alger, 209 p.
- DURAND (J. H.) — 1956 — « Les croûtes calcaires s. l. d'Afrique du Nord étudiées à la lumière de la biorhexistase. » *Serv. Et. Scient.*, Alger, *Trav. Sect. Pédol. Agrol.*, 2, 19 p.
- DURAND (J. H.) — 1958 — « Du nouveau au sujet de la formation des croûtes calcaires s. l. » *Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord*, 49, pp. 196-203.
- DURAND (J. H.) — 1959 — « Les sols rouges et les croûtes en Algérie. » *Serv. Et. Scient.*, Alger, 188 p.
- DURAND (J. H.) — 1963 — « Les croûtes calcaires et gypseuses en Algérie : formation et âge. » *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7, V, pp. 959-968.
- DURAND (R.) — 1968 — « Sols calciques mélaniques du Pré-Rif occidental. » *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, VIII, 2, pp. 173-186.
- EMBERGER (L.) — 1930 — « La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. » *Rev. gén. Bot.*, 42, pp. 641-662 et 705-721.
- EMBERGER (L.) — 1955 — « Une classification biogéographique des climats. » *Rec. Trav. Lab. Bot. Géol. Zool. Fac. Sci. Montpellier, sér. Bot.*, 7, pp. 3-43.
- ERHART (H.) — 1956 — « La genèse des sols en tant que phénomène géologique. » Masson, Paris, 90 p.
- FAURE (H.) — 1950 — « Etude géologique et hydrogéologique du flanc nord des Bni Snassène (secteur d'Ain Regada). » Dipl. Et. sup. Fac. Sci. Paris, *multigr.*
- FEDOROFF (N.) — 1961 — « Les croûtes et les encroûtements calcaires dans le midi méditerranéen français. » *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, IV, 1, pp. 43-49.
- FEDOROFF (N.) — 1968 — « Genèse et morphologie des sols à horizon B textural en France atlantique. » *Science du Sol*, 1, pp. 29-65.
- FLACH (K. W.), NETTLETON (W. D.), GILE (L. H.), CADY (J. G.) — 1969 — « Pedocementation : induration by silica, carbonates, and sesquioxides in the Quaternary. » *Soil Sci.*, 107, 6, pp. 442-453.
- FRANZ (H.), FRANZ (G.) — 1968 — « Beitrag zur Kenntnis der Bildung von Kalkkrusten in Böden der warmen Trockengebiete. » *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 121, 1, pp. 34-42.
- GAUCHER (G.) — 1947 a — « Premières observations sur la plaine des Triffa. » *Multigr.*, 66 p.
- GAUCHER (G.) — 1947 b — « Sur l'âge des sols rouges nord-africains. » *Conf. Pédol. médit.*, Montpellier-Alger, pp. 373-376.
- GAUCHER (G.) — 1947 c — « Les sols rubéfiés et les sols à croûtes du Bas Chélif et des basses plaines oranaises (régions d'Inkermann, de Relizane, de Perregaux et de St Denis du Sig. » *C. R. Ac. Sci.*, Paris, 225, pp. 133-135.
- GAUCHER (G.) — 1948 a — « Sur certains caractères des croûtes calcaires en rapport avec leur origine. » *C. R. Ac. Sci.*, Paris, 227, pp. 154-156.

- GAUCHER (G.) — 1948 b — « Sur quelques conditions de formations des croûtes calcaires. » *C. R. Ac. Sci.*, Paris, 227, pp. 215-217.
- GAUCHER (G.) — 1959-1960 — « Les conditions géologiques de la pédogenèse nord-africaine. » *Bull. Ass. fr. Et. Sol.*, 1959, 12, pp. 564-576 ; 1960, 2, pp. 48-66.
- GENTIL (L.) — 1908 — « Esquisse géologique du Massif des Bni Snassène. » *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 4, VIII, pp. 391-417.
- GEOFFROY (J. L.) — 1959 — « Étude pédologique de la partie N.-W. de la plaine du Zebra. » O.R.S.T.O.M.-D.M.V.G.R., *multigr.*, 58 p.
- GERASSIMOV (I. P.) — 1954 — « Les sols marrons des régions méditerranéennes. » 5<sup>e</sup> Congr. Int. Sci. Sol, Léopoldville, *Ed. Acad. Sci. U.R.S.S.*, 40 p.
- GIGOUT (M.) — 1957 — « Recherches sur le Quaternaire marocain. » *Trav. Inst. Scient. Chérif.*, sér. Géol. Géogr. Phys., 7, 77 p.
- GIGOUT (M.), MORTIER (F.), RAYNAL (R.) — 1957 — « Sur le Quaternaire récent de la Basse Moulouya, coupe-type du Quaternaire récent marocain. » *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 6, p. 101.
- GIGOUT (M.) — 1958 — « Sur le mode de formation des limons et croûtes calcaires du Maroc. » *C. R. Ac. Sci.*, Paris, 247, pp. 97-100.
- GIGOUT (M.) — 1960 a — « Sur la genèse des croûtes calcaires pleistocènes en Afrique du Nord. » *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1, pp. 8-10.
- GIGOUT (M.) — 1960 b — « Nouvelles recherches sur le Quaternaire marocain et comparaison avec l'Europe. » *Trav. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon*, nouv. sér., 6, 158 p.
- GILE (L. H.) — 1961 — « A classification of Ca horizons in soils of a desert region, Dona Ana County, New Mexico. » *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 25, 1, pp. 52-61.
- GILE (L. H.), PETERSON (F. F.), GROSSMAN (R. B.) — 1965 — « The K horizon : a master soil horizon of carbonate accumulation. » *Soil Sci.*, 99, 2, pp. 74-82.
- GILE (L. H.) — 1966 — « Cambic and certain noncambic horizons in desert soils of Southern New Mexico. » *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 30, 6, pp. 773-781.
- GILE (L. H.), PETERSON (F. F.), GROSSMAN (R. B.) — 1966 — « Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils. » *Soil Sci.*, 101, 5, pp. 347-360.
- GILE (L. H.), GROSSMAN (R. B.) — 1968 — « Morphology of the argillic horizon in desert soils of Southern New Mexico. » *Soil Sci.*, 106, 1, pp. 6-15.
- HAMEL (C.) — 1965 — « Étude géologique de la terminaison occidentale de la chaîne du Gareb (avant-pays du Rif oriental). » *Dir. Mines et Géol., Serv. Carte Géol., multigr.*, 128 p.
- HENIN (S.) — 1960 — « Le profil cultural. » *Soc. d'Edit. des Ing. Agric.*, 320 p.
- HENIN (S.) — 1967 — « Interprétation de l'analyse granulométrique. Le concept de texture. » *An. Edafol. y Agrobiol.*, XXVI, 1-4, pp. 845-848.
- HEUSCH (B.) — 1960 — « Irrigation de la Basse Moulouya, rive droite : étude agronomique du périmètre des Triffa. » S.O.G.E.T.I.M.-D.M.V.G.R., *multigr.*, 215 p.
- HEUSCH (B.) — 1969 — « L'érosion dans le bassin du Sebou : une approche quantitative. » *Rev. Géogr. Maroc*, 15, pp. 109-128.
- HEUSCH (B.), ROBERT (P.) — 1969 — « La station expérimentale de lutte anti-érosive du Mda. » *Projet Sebou*, Rabat, *multigr.*, 180 p.
- HUBSCHMAN (J.) — 1967 — « Sols, pédogenèses et climats quaternaires dans la plaine des Triffa (Maroc). » Thèse Ing. Dr, Toulouse, *multigr.*, 152 p.
- HUVELIN (P.) — 1965 — « Sols rubéfiés et croûtes calcaires du piémont septentrional du Haut Atlas de Demnate. » *Notes et Mém. Serv. Géol.*, Rabat, 185, pp. 95-97.
- I.N.R.A. MAROC — 1966 — « Congrès de Pédologie méditerranéenne. Excursion au Maroc. Livret-Guide. » *Cah. Rech. agron.*, 24, 380 p. et 25, 327 p.
- IONESCO (T.), SAUVAGE (C.) — 1962 — « Les types de végétation au Maroc : essai de nomenclature et de définition. » *Rev. Géogr. Maroc*, 1-2, pp. 75-86.
- IONESCO (T.), MATHEZ (J.) — 1966 — « Climatologie, bioclimatologie et phytogéographie du Maroc. » In « Congrès de Pédologie méditerranéenne. Excursion au Maroc. Livret-Guide. » *Cah. Rech. agron.*, 24, pp. 27-58.
- JEANNETTE (A.), HAMEL (C.) — 1961 — « Présentation géologique et structurale du Rif nord-oriental. » *Mines et Géologie*, 4<sup>e</sup> ann., 14, pp. 7-15.
- JOLY (F.) — 1962 — « Etudes sur le relief du Sud-Est marocain. » *Trav. Inst. Scient. Chérif.*, sér. Géol. et Géogr. Phys., 10, 578 p.
- JUNG (J.) — 1963 — « Précis de pétrographie. » Masson, Paris, 319 p.
- JUTARD (G.) — 1954 — « Rapport géologique sur la cuvette de Bou Houria. » *Rapp. Serv. Carte Géol. Maroc*, Rabat, *multigr.*, 13 p.
- LAMOUREUX (M.), AUBERT (G.) — 1966 — « Les sols bruns méditerranéens formés sur calcaire dur au Liban. » Conf. Sols médit., Madrid, pp. 203-206.
- LAMOUREUX (M.) — 1967 — « Contribution à l'étude de la pédogenèse en sols rouges méditerranéens. » *Science du Sol*, 2, pp. 55-86.
- LAMOUREUX (M.) — 1968 a — « Les sols bruns méditerranéens et les sols rouges partiellement brunifiés du Liban. » *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, VI, 1, pp. 63-93.

- LAMOUROUX (M.) — 1968 b — « Compte rendu des journées pédologiques libanaises. » *Bull. bibliogr. Pédol.*, O.R.S.T.O.M., XVII, 3, pp. 7-16.
- LE COZ (J.) — 1964 — « Le Rharb. Fellahs et colons. Etude de géographie régionale. » Thèse Lettres, Paris, 2 t., 482 et 516 p.
- LEPOUTRE (B.), SAUVAGEOT (A.) — 1969 — « Une cause de la saturation magnésienne des argiles dans le sol : l'hydromorphie temporaire de saison chaude. » *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, VII, 2, pp. 183-201.
- LIZAUR (J. de), MARCAIS (J.), COLO (G.), SUTER (G.) — 1951 a — « Traits généraux de la chaîne des Kebdana. » *C. R. Ac. Sci.*, Paris, 232, pp. 1124-1126.
- LIZAUR (J. de), MARCAIS (J.), COLO (G.), SUTER (G.) — 1951 b — « Structure et encadrement de la chaîne des Kebdana. » *C. R. Ac. Sci.*, Paris, 232, pp. 1363-1365.
- MAHLER (P.) — 1960 — « Périmètre du Bou Arg : étude pédologique. » O.R.S.T.O.M.-D.M.V.G.R., *multigr.*, 146 p.
- MARCAIS (J.), SUTER (G.) — 1952 — « Description de l'itinéraire des excursions A. 31 et C. 31 (Partie A). » 19<sup>e</sup> Congr. Géol. Int., Livret-Guide 7 des excursions au Maroc.
- MARGAT (J.), RAYNAL (R.), TALASSE (P.) — 1954 — « Deux séries d'observations nouvelles sur les croûtes au Maroc (couloir sud-rifain et Maroc oriental). » *Mém. Serv. Géol.*, Rabat, 122, pp. 26-38.
- MASSONI (C.) — 1962 — « Etude des sols de la partie ouest de la plaine du Zebra. » O.N.I., *multigr.*, 33 p.
- MASSONI (C.) — 1963 — « La plaine du Gareb : étude pédologique. » O.N.I., *multigr.*, 51 p.
- MASSONI (C.) — 1964 — « Carte pédologique à 1/50 000 de la plaine des Triffa. » O.N.I. (couleurs).
- MASSONI (C.), RUELLAN (A.) — 1964 — « Etude pédologique de la Basse Moulouya. » Avant-projet d'aménagement et de mise en valeur de la Basse Moulouya, 2<sup>e</sup> partie, chap. 5, O.N.I., *multigr.*, 121 p.
- MASSONI (C.) — 1967 — « Les sols du Périmètre irrigué des Bni Amir. » O.R.M.V.A., Tadla, *multigr.*, 59 p.
- MAURER (G.) — 1968 — « Les montagnes du Rif central. Etude géomorphologique. » Thèse Lettres, Paris, *Trav. Inst. Scient. Chérif., sér. Géol. et Géogr. Phys.*, 14, 502 p.
- MILLOT (G.) — 1964 — « Géologie des argiles. » Masson, Paris, 499 p.
- MILLOT (G.), PAQUET (H.), RUELLAN (A.) — 1969 — « Néof ormation de l'attapulgit dans les sols à carapaces calcaires de la Basse Moulouya (Maroc oriental). » *C. R. Ac. Sci.*, Paris, 268, D, pp. 2771-2774.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DE L'U.R.S.S. — 1964 — « Short guide to soil excursion from Moscou to Kherson to assist participants of VIII-th International Congress of Soil Science held in Bucharest. » Kolos, 93 p.
- MONITION (A.), MONITION (L.) — 1956-1959 — « Quelques observations sur les formations permo-triasiques du massif des Bni Snassène (Maroc oriental). » 20<sup>e</sup> Congr. Géol. Int., Mexico, *C. R. Ass. Serv. Géol. Afric.*, pp. 187-202.
- MONITION (L.) — 1956 — « Etude géologique de la région de Mechra-Klila. » Thèse Ing. Dr, *Notes et Mém. Serv. Géol.*, Rabat, 140, 96 p.
- MONITION (L.) — 1962 — « Les formations liasiques des monts des Bni Snassène (Maroc oriental). » *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7, 4, pp. 102-108.
- MORTIER (F.) — 1956-1957 — « Etude hydrogéologique de la plaine des Triffa. » Rapp. Serv. des Ress. en Eau, Oujda, *multigr.*
- MUNSELL COLOR COMPANY INC. — 1951 — « Munsell color charts. » Baltimore.
- NETTLETON (W. D.), FLACH (K. W.), BRASHER (B. R.) — 1969 — « Argillic horizons without clay skins. » *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33, 1, pp. 121-125.
- PAQUET (H.) — 1969 — « Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées. » Thèse Sci., Strasbourg, *multigr.*, 348 p., sous presse.
- PAQUET (H.), LAMOUROUX (M.), MILLOT (G.) — 1969 — « Relations géochimiques entre les sols de montagne et les sols de plaine au Liban. » *C. R. Ac. Sci.*, Paris, sous presse.
- PAQUET (H.), RUELLAN (A.), TARDY (Y.), MILLOT (G.) — 1969 — « Géochimie d'un bassin versant au Maroc oriental. Evolution des argiles dans les sols des montagnes et des plaines de la Basse Moulouya. » *C. R. Ac. Sci.*, Paris, 269, D, pp. 1839-1842.
- PEREL'MAN (A. I.) — 1965 — « Geochemistry of epigenesis. » Acad. Sci. Moscou, traduit en anglais par Kohanowsky (N. N.), Plenum Press, New York, 1967, 266 p.
- PERSOGLIO (I.) — 1962 — « Etude phytosociologique de la rive gauche de la Basse Moulouya. » Rapp. sur l'aménagement de la rive gauche de la Basse Moulouya, 2<sup>e</sup> partie, chap. 5, O.N.I., *multigr.*, 27 p.
- PLEVEN (J.), SCHMELZ (H.), RIGHI (D.) — 1967 — « La méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques. » *Bull. Ass. fr. Ét. Sol.*, 6, pp. 15-25.
- PUJOS (A.) — 1957 — « Terres rouges, noires et grises (problèmes de coloration et de datation des sols méditerranéens étudiés en Afrique du Nord). » *Soc. Sci. nat. phys., Maroc, Trav. Sect. Pédol.*, 12, pp. 69-85.
- PUJOS (A.) — 1958 — « Etude des érosions dans le bassin de la Moulouya. » S.O.G.E.T.I.M., Eaux et Forêts et Conserv. des sols du Maroc, *multigr.*, 650 p.
- RAYNAL (R.) — 1955 — « Oscillations climatiques et évolution du relief au cours du Quaternaire. » *Notes Maroc.*, 5, pp. 10-14.
- RAYNAL (R.) — 1961 — « Plaines et piémonts du bassin de la Moulouya (Maroc Oriental) ; étude géomorphologique. » Thèse Lettres, Paris, Faculté des Lettres, Rabat, 573 p.
- RAYNAL (R.) — 1962 — « Pédologie et géomorphologie au Maroc. » *Rev. Géogr. Maroc*, 1-2, pp. 19-21.
- RAYNAL (R.), TRICART (J.) — 1963 — « Comparaison des grandes étapes morphogénétiques du Quaternaire dans le Midi méditerranéen français et au Maroc. » *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7, V, 4, pp. 587-596.
- RAYNAL (R.) — 1965 — « Sédimentation et évolution des processus géomorphologiques au cours des pluviaux quaternaires en Afrique du Nord. » *Congr. Int. di Studi nord-africani*, Cagliari, 13 p.

- RIVIÈRE (A.) — 1967 — « Méthodes granulométriques en géologie. » Mises à jour scientif., Gauthier-Villars, 2, pp. 243-262.
- RODE (A. A.) — 1947 — « The soil forming process and soil evolution. » Moscou, traduit en anglais par Joffe (J. S.), Israel program for scientific translations, Jerusalem, 1961, 100 p.
- ROQUES (H.) — 1967 — « Chimie des carbonates et hydrogéologie karstique. » Centre Tech. Doc. Cartogr. Géogr., *Mém. et Docum.*, 4, pp. 113-141.
- RUELLAN (A.) — 1959 — « Étude pédologique d'une partie des terrains collectifs de la plaine du Zebra. » O.R.S.T.O.M.-D.M.V.G.R., *multigr.*, 92 p.
- RUELLAN (A.) — 1960 — « Les sols salés et alcalisés de la plaine du Zebra. » *Soc. Sci. nat. phys. Maroc, Trav. Sect. Pédol.*, 13-14, pp. 157-164.
- RUELLAN (A.) — 1962 — « Utilisation de la géomorphologie pour l'étude pédologique à 1/20 000 de la plaine du Zebra (Basse Moulouya). » *Rev. Géogr. Maroc.*, 1-2, pp. 23-30.
- RUELLAN (A.) — 1963 — « Étude pédologique de la plaine du Zebra. » O.N.I., *multigr.*, 358 p.
- RUELLAN (A.) — 1964 a — « Climatologie de la Basse Moulouya. » Avant-projet d'aménagement et de mise en valeur de la Basse Moulouya, 2<sup>e</sup> partie, chap. 2, O.N.I., *multigr.*, 62 p.
- RUELLAN (A.) — 1964 b — « Possibilités et limites d'utilisation des sols et des eaux de la Basse Moulouya. » Avant-projet d'aménagement et de mise en valeur de la Basse Moulouya, 4<sup>e</sup> partie, chap. 2, O.N.I., *multigr.*, 35 p.
- RUELLAN (A.) — 1964 c — « Les sols salés et alcalisés en profondeur de la plaine du Zebra : premiers résultats d'une expérimentation destinée à étudier leur amélioration et leur évolution sous irrigation. » 8<sup>e</sup> Congr. Int. Sci. Sol, Bucarest, II, pp. 937-948.
- RUELLAN (A.) — 1964 d — « Quelques caractéristiques physiques et chimiques des sols de la plaine du Zebra : leur répercussion sur les possibilités de mise en valeur. » *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 2, 4, pp. 49-62.
- RUELLAN (A.) — 1965 a — « Le rôle des climats et des roches sur la répartition des sols dans la Basse Moulouya. » *C. R. Ac. Sci.*, Paris, 261, pp. 2379-2382.
- RUELLAN (A.) — 1965 b-1968 — « Experiments in the improvement of saline and alkaline soils of the Zebra plain (Morocco). » Symp. Int. World Acad. of Art and Sci., Rome, publiée 1968 dans « Saline irrigation for agriculture and forestry » par H. BOY CO. *World Acad. of Art and Sci.*, 4, pp. 241-248.
- RUELLAN (A.) — 1966 a — « Sols isohumiques et accumulations du calcaire en Basse Moulouya et dans l'ensemble du Maroc. Description, pédogenèse et classification. » O.R.S.T.O.M.-O.N.I., *multigr.*, 178 p.
- RUELLAN (A.) — 1966 b — « Les sols isohumiques subtropicaux au Maroc. » *Conf. Sols médit.*, Madrid, pp. 81-89.
- RUELLAN (A.) — 1967 a — « Conférence sur les sols méditerranéens. Compte rendu de l'excursion en Espagne et au Portugal. » *Bull. bibliogr. Pédol.*, O.R.S.T.O.M., XVI, 1, pp. 8-21.
- RUELLAN (A.) — 1967 b — « Individualisation et accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts quaternaires du Maroc. » *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 5, 4, pp. 421-462.
- RUELLAN (A.) — 1967 c-1969 — « Quelques réflexions sur le rôle des sols dans l'interprétation des variations bioclimatiques du Pleistocène marocain. » 6<sup>e</sup> Congr. Panafr. Préh. et Et. Quat., Dakar, publié dans *Rev. Géogr. Maroc.*, 15, pp. 129-140.
- RUELLAN (A.) — 1968 a — « Les horizons d'individualisation et d'accumulation du calcaire dans les sols du Maroc. » 9<sup>e</sup> Congr. Int. Sci. Sol, Adelaïde, IV, pp. 501-510.
- RUELLAN (A.) — 1968 b — « Quelques réflexions sur la salure et l'alcalisation dans les sols du Maroc. » Réunion. Péd. O.R.S.T.O.M., Bondy, *multigr.*, 11 p.
- RUELLAN (A.) — 1968 c — « Quelques réflexions sur la classification américaine des sols. » *Multigr.*, 8 p.
- RUELLAN (A.) — 1969 a — « Quelques réflexions sur la paléopédologie. » *Bull. Ass. Franc. Et. Quat.*, 1970, 2-3, pp. 179-180.
- RUELLAN (A.) — 1969 b — « Le développement au cours du Quaternaire des sols à profil calcaire différencié de la plaine du Zebra (Maroc Oriental). Interprétation paléoclimatique. » 8<sup>e</sup> Congr. I.N.Q.U.A. Paris, sous presse, in « *Études sur le Quaternaire dans le monde* ».
- RUHE (R. V.) — 1967 — « Geomorphic surfaces and surficial deposits in southern New Mexico. » State Bur. Mines and Min. Res., New Mexico Inst. Mining and Techn., 18, 66 p.
- RUHE (R. V.) — 1969 — « Principles for dating pedogenic events in the Quaternary. » *Soil Sci.*, 107, 6, pp. 398-402.
- RUSSO (P.) — 1938 — « Le massif des Bni Snassène. » *La Géographie*, 69, 2, pp. 82-94.
- SAUVAGE (C.) — 1960 — « Recherches géobotaniques sur le chêne-liège au Maroc. » Thèse Sci., Montpellier, *Trav. Inst. Sci. Chérif.*, sér. Bot., 21, 462 p.
- SAUVAGE (C.) — 1963 — « Étages bioclimatiques. » Atlas du Maroc, notice explicative de la carte établie par C. BRIGNON et C. SAUVAGE (sect. II, pl. 6 b), 44 p.
- SCHOEN (U.) — 1968 — « Contribution à la connaissance des minéraux argileux dans les sols marocains. » Thèse Sci., Goettingen, I.N.R.A., Rabat, *multigr.*, 134 p.
- SMITH (B. R.), BUOL (S. W.) — 1968 — « Genesis and relative weathering intensity studies in three semiarid soils. » *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32, 2, pp. 261-265.
- SOGETIM — 1965 — « Périmètre de la Basse Moulouya ; Plaine des Triffa ; cartographie détaillée des sols à l'échelle du 1/5 000. » O.M.V.A., 2 t., *multigr.*
- STACE (H. C. T.), HUBBLE (G. D.), BREWER (R.), NORTHCOLE (K. H.), SLEEMAN (J. R.), MULCAHY (M. J.), HALLSWORTH (E. G.) — 1968 — « A handbook of Australian soils. » Rellim Technical Public. 435 p.
- STRETTA (E.) — 1949 — Hydrogéologie du flanc nord des Bni Snassène en amont de Berkane. » *Notes et Mém. Serv. Géol.*, Rabat, 74, pp. 213-221.

- STUART (D. M.), FOSBERG (M. A.), LEWIS (G. C.) — 1961 — « Caliche in Southwestern Idaho. » *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 25, 2, pp. 132-135.
- TARDY (Y.) — 1969 — « Géochimie des altérations. Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. » Thèse Sci., Strasbourg, *multigr.*, 274 p., sous presse.
- THORNTHWAITE (C. W.) — 1948 — « An approach toward a rational classification of climate. » *Geogr. Review*, pp. 55-94.
- TREGUBOV (V.) — 1957 — « Etudes phytosociologiques sur le Maroc oriental. » C.N.R.S.-D.M.V.G.R., *multigr.*, 45 p.
- TREGUBOV (V.) — 1963 — « Etude des groupements végétaux du Maroc oriental méditerranéen. » *Bull. Mus. Hist. Nat.*, Marseille, 23, pp. 121-194.
- TRICART (J.) — 1967 — « Certaines formes de sédimentation calcaire quaternaires sont-elles dues à des déséquilibres géochimiques périodiques ? » *Chem. Géol.*, 2, pp. 233-248.
- U.S.D.A. — 1960 — « Soil classification. A comprehensive system. 7th Approximation. » Soil Survey Staff, Soil Conservation Service, 295 p.
- U.S.D.A. — 1967 — « Supplement to soil classification system (7th Approximation). » Soil Survey Staff, Soil Conservation Service, *multigr.*, 207 p.
- WILBERT (J.) — 1960 — « Sols types des Doukkala et leurs relations. » *Soc. Sci. nat. phys., Maroc, Trav. Sect. Péd.*, 13-14, pp. 11-34.
- WILBERT (J.) — 1961 — « Le Quaternaire dans les Doukkala. » *Notes Maroc.*, 16, pp. 5-30.
- WILBERT (J.) — 1962 a — « Deux exemples de relations entre pédologie et géomorphologie au Maroc. » *Rev. Géogr. Maroc* 1-2, pp. 31-35.
- WILBERT (J.) — 1962 b — « Un sol marocain polyphasé : le merzag d'Ellouizia. » *Al Awamia*, 4, pp. 171-177.
- WILBERT (J.) — 1962 — « Croûtes et encroûtements calcaires au Maroc. » *Al Awamia*, 3, pp. 175-192.

---

# Table des matières

## LISTE DES FIGURES

1. — La Basse Moulouya .....	22
2. — La Basse Moulouya : esquisse géologique et structurale .....	23
2 a. — Coupes géologiques schématisques du flanc nord des Bni Snassène et de la plaine des Triffa .....	25
3. — Carte schématique des étages bioclimatiques de la Basse Moulouya .....	30
4. — Carte schématique de la répartition des dépôts du Quaternaire dans les plaines de la Basse Moulouya.....	35
5. — Climatogrammes .....	41
6. — Quelques exemples de corrélations verticales entre les divers faciès de l'horizon Bca, et entre les horizons Aca, Bca et C des sols de la Basse Moulouya .....	60
7. — Passages latéraux entre les divers types d'horizon Bca dans les sols de la Basse Moulouya .....	61
8. — Quelques exemples de profils calcaires des sols non encroûtés .....	63
9. — Quelques exemples de profils calcaires de sols à profil calcaire très différencié ...	63
10. — Quelques exemples de la répartition du calcaire dans les fractions granulométriques des sols à profil calcaire moyennement différencié .....	64
11. — Sol encroûté présentant trois accumulations de calcaire superposées .....	64
12. — Quelques exemples de la position des cailloutis par rapport aux horizons où le calcaire s'accumule et se concentre : coupe transversale d'un glaciaire du Quaternaire moyen	67

13. — Quelques exemples de la position des cailloutis par rapport aux horizons où le calcaire s'accumule et se concentre : coupe perpendiculaire à un oued .....	68
14. — Variation verticale des courbes granulométriques dans des sols à profil calcaire assez peu différencié .....	69
15. — Variation verticale des courbes granulométriques dans des sols à profil calcaire moyennement ou très différencié : sols à Aca calcaire et à Bca et C pauvres en nodules ....	70
16. — Variation verticale des courbes granulométriques dans des sols à profil calcaire moyennement ou très différencié : sols à Aca non calcaire et à Bca et C riches en nodules très durs .....	70
17. — Profils texturaux (particules non calcaires) de sols à profil calcaire non ou peu différencié .....	72
18. — Profils texturaux (particules non calcaires) de sols à profil calcaire moyennement ou très différencié, et à Aca non calcaire.....	72
19. — Profils texturaux (particules non calcaires) de sols à profil calcaire moyennement différencié, calcaires dès la surface .....	72
20. — Profils texturaux (particules non calcaires) de sols à profil calcaire très différencié, calcaires dès la surface .....	73
21. — Répartition de la matière organique totale dans les sols à profil calcaire peu ou moyennement différencié des plaines de la Basse Moulouya et dans les chernozems de Russie	84
22. — Quelques exemples de la composition des matières humiques dans les sols des plaines de la Basse Moulouya .....	85
23. — L'attapulгите dans les sols à horizon Aca non calcaire de la plaine des Triffa .....	89
24. — L'attapulгите dans les sols à horizons Aca calcaire et At très clair de la plaine du Zebra	90
25. — L'attapulгите dans les sols à encroûtement épais : exemple pris dans la plaine du Zebra	90
26. — Répartition schématique des sols à horizon At sombre, clair et très clair dans les plaines de la Basse Moulouya.....	97
27. — Répartition schématique des sols à horizon Aca non ou peu calcaire, argileux et rouge, dans les plaines de la Basse Moulouya par rapport aux sols des massifs montagneux	101
28. — Morphologie de l'horizon Bca dans les sols situés sur les terrasses quaternaires de l'oued Zebra .....	102
29. — Quelques exemples de la répartition des divers types d'horizon Bca en fonction du relief .....	107
30. — Superposition des horizons Bca sur un glacis du Quaternaire ancien et dans une dépression du Quaternaire moyen .....	108
31. — Superposition des horizons Bca et C sur un glacis polygénique.....	108
32. — Superposition des horizons Bca et C en bordure d'un oued de faible importance..	109
33. — Epaisseur de l'horizon Aca en fonction des positions topographiques .....	109
34. — Répartition de la matière organique totale dans les sols des massifs montagneux de la Basse Moulouya.....	118
35. — Répartition de la matière organique totale dans divers types de sols de la Basse Moulouya .....	119
36. — Quelques exemples de la composition des matières humiques dans les sols des montagnes de la Basse Moulouya .....	121
37. — Schéma de la répartition des principaux types de sols en fonction des roches-mères et des zones climatiques (altitude) dans les Bni Snassène orientaux .....	125
38. — Le Maroc .....	136
39. — Carte des étages bioclimatiques du Maroc .....	138
40. — Rôle de l'érosion et de l'accumulation linéaires dans la naissance de certains cailloutis et limites nettes « rayinantes ».....	163
41. — Situation des profils cités en exemples dans les plaines et les montagnes de la Basse Moulouya .....	202



## LISTE DES TABLEAUX

I. — Moyennes des précipitations mensuelles et annuelles .....	39
II. — Quelques exemples de l'irrégularité des précipitations annuelles .....	39
III. — Moyennes mensuelles et annuelles des températures .....	40
IV. — Les températures moyennes .....	40
V. — Quelques données sur l'hygrométrie, l'insolation, le vent et l'évaporation .....	42
VI. — Quotients pluviothermiques d'Emberger .....	43
VII. — Indices de Thorntwaite .....	43
VIII. — Les principaux types d'horizons Bca. Description macromorphologique et classification .....	46
IX. — Les principaux caractères morphologiques des sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya .....	81
X. — Classification des sols des plaines de la Basse Moulouya, donnés en exemple dans les fiches de profils n <sup>os</sup> 1 à 30 .....	82
XI. — Minéraux de la fraction fine (< 2 microns) des sols à profils calcaires peu différencié et différencié .....	92
XII. — Minéraux de la fraction fine (< 2 microns) des sols à profil calcaire très différencié : sols à encroûtement peu épais .....	93
XIII. — Minéraux de la fraction fine (< 2 microns) des sols à profil calcaire très différencié : sols à encroûtement épais .....	94
XIV. — Teneur en calcaire et dolomite de quelques roches calcaires, dolomitiques et gréseuses compactes des Bni Snassène .....	117
XV. — Minéraux de la fraction fine (< 2 microns) des principales roches des massifs montagneux de la Basse Moulouya .....	122
XVI. — Minéraux de la fraction fine (< 2 microns) des sols rouges méditerranéens sur calcaires et dolomies compacts des Bni Snassène orientaux .....	123
XVII. — Minéraux de la fraction fine (< 2 microns) des sols rouges et bruns méditerranéens sur flyschs pélitiques et grès des Bni Snassène .....	126
XVIII. — Classification des sols des montagnes de la Basse Moulouya, donnés en exemple dans les fiches de profils n <sup>os</sup> 31 à 42 .....	128
XIX. — Minéraux de la fraction fine (< 2 microns) des sols calcomagnésimorphes et du ranker sur granite des Bni Snassène .....	130

## LISTE DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

1. — Les Bni Snassène et les Triffa .....	29
2. — Les Kbdana et le Zebra .....	33
3. — Le Quaternaire .....	37
4. — Les sols à profil calcaire moyennement différencié des plaines. Les encroûtements feuilletés et lamellaires (photos en couleur) .....	48-49
5. — Les formes de l'accumulation et de la concentration du calcaire .....	53
6. — Les formes de l'accumulation et de la concentration du calcaire .....	57
7. — Les sols des Bni Snassène (photos en couleur) .....	120-121
8. — Erosion et migration des sols .....	133

## TABLE GÉNÉRALE DES MATIÈRES

<i>Avant-propos</i> .....	II
<i>Introduction</i> .....	15
PREMIÈRE PARTIE. — LES SOLS A PROFIL CALCAIRE DIFFÉRENCIÉ DES PLAINES DE LA BASSE MOULOUYA .....	19
Chapitre I. — <i>Le cadre de la formation des sols</i> .....	21
I. — <i>L'environnement montagneux</i> .....	22
A. — Les Bni Snassène .....	24
1. La géologie .....	24
2. Le climat .....	26
3. La végétation .....	26
4. Conclusions .....	26
B. — Les Kebdana et les Kerker .....	26
C. — Conclusions .....	27
II. — <i>Les plaines</i> .....	27
A. — Les plaines et collines de la rive droite : les Triffa .....	28
1. La plaine côtière du Saïdia .....	28
2. Les collines et les plateaux des Ouled Mansour .....	28
3. La cuvette des Triffa .....	30
4. Le piémont est des Bni Snassène .....	31
5. La région de Boughriba .....	31
6. La région de Schouyahia .....	31
7. La végétation .....	31
B. — La plaine du Zebra .....	32
C. — Les traits majeurs du Quaternaire .....	34
D. — Conclusions .....	38
Chapitre 2. — <i>L'organisation morphologique des sols</i> .....	45
I. — <i>Morphologie et répartition du calcaire</i> .....	47
A. — Etude macromorphologique de la distribution et de la concentration du calcaire dans les dépôts quaternaires et dans les sols .....	47
1. Les distributions diffuses .....	49
2. Les concentrations discontinues .....	49
a) Les pseudo-mycéliums .....	49
b) Les amas friables .....	49
c) Les nodules .....	50
3. Les concentrations continues .....	50
a) Les encroûtements non feuilletés .....	51
b) Les encroûtements feuilletés .....	51
c) Les encroûtements lamellaires ou pellicules rubanées ..	51
B. — La répartition du calcaire dans les dépôts quaternaires .....	52
C. — La répartition du calcaire dans les sols .....	54
1. Les divers types d'horizon Bca .....	54

a) Des horizons à distribution diffuse .....	55
b) Des horizons à amas friables .....	55
c) Des horizons à nodules .....	55
d) Des encroûtements non feuilletés .....	55
e) Des croûtes .....	56
f) Des dalles compactes .....	58
g) Des pellicules rubanées.....	58
2. Position des horizons Bca .....	58
3. Rapports entre les horizons Aca et les horizons Bca.....	58
a) Transition entre les deux horizons .....	58
b) Teneur en calcaire et épaisseur des deux horizons ...	59
4. Rapports entre les horizons Bca et C .....	59
5. Relations verticales entre les divers faciès de l'horizon Bca.	60
6. Les variations latérales de l'horizon Bca .....	61
7. Conclusion .....	61
D. — Les différents types de profil calcaire .....	62
II. — <i>Le profil textural</i> .....	65
Quelques problèmes de méthodes d'analyses .....	66
A. — Variation verticale de la texture globale .....	66
1. Les cailloutis .....	67
2. La texture globale .....	68
3. Conclusions .....	71
B. — Variation verticale de la fraction texturale argileuse .....	71
1. Caractères généraux des profils texturaux argileux .....	71
2. Les principaux types de profils texturaux argileux .....	73
a) Les sols à profil calcaire non ou peu différencié .....	73
b) Les sols à profil calcaire moyennement différencié.....	73
c) Les sols à profil calcaire très différencié .....	75
3. Conclusions .....	75
III. — <i>Les couleurs</i> .....	75
IV. — <i>Le profil structural</i> .....	76
A. — La structure des sols à profil calcaire moyennement différencié	76
1. Les sols non calcaires en surface .....	77
2. Les sols calcaires dès la surface .....	78
B. — Quelques données complémentaires .....	78
V. — <i>Conclusions : Les principaux types de différenciations pédologiques</i> .....	79
A. — Les sols à profil calcaire moyennement différencié .....	79
B. — Les sols à profil calcaire peu différencié.....	80
C. — Les sols à profil calcaire très différencié.....	80
Chapitre 3. — <i>Les principaux caractères chimiques et minéralogiques des sols</i> .....	83
I. — <i>Le profil organique</i> .....	83
A. — Les teneurs en matière organique totale .....	84
B. — Composition de la matière organique .....	86
C. — Conclusions .....	86
II. — <i>Le fer</i> .....	87

III. — <i>La solution du sol et le complexe adsorbant</i> .....	88
IV. — <i>Les minéraux argileux</i> .....	89
V. — <i>Conclusion</i> .....	94
Chapitre 4. — <i>La répartition des sols</i> .....	95
I. — <i>La répartition des sols en fonction des climats actuels</i> .....	96
A. — <i>Le profil calcaire</i> .....	96
B. — <i>Le profil textural</i> .....	96
C. — <i>Les couleurs</i> .....	97
D. — <i>Le profil structural</i> .....	98
E. — <i>Le profil organique</i> .....	98
F. — <i>Le fer</i> .....	98
G. — <i>La solution du sol et le complexe adsorbant</i> .....	98
H. — <i>Les minéraux argileux</i> .....	98
I. — <i>Conclusions</i> .....	99
II. — <i>La répartition des sols en fonction du relief actuel</i> .....	99
A. — <i>Le relief général</i> .....	99
B. — <i>Les formes emboîtées</i> .....	100
1. <i>L'exemple du Zebra</i> .....	100
a) <i>Le Rharbien récent</i> .....	102
b) <i>Le Rharbien ancien</i> .....	103
c) <i>Le Soltanien</i> .....	103
d) <i>La terrasse récente du Quaternaire moyen</i> .....	103
e) <i>La terrasse ancienne du Quaternaire moyen</i> .....	104
f) <i>Le Villafranchien récent</i> .....	104
g) <i>Le Villafranchien ancien</i> .....	104
2. <i>Les particularités des Triffa</i> .....	104
3. <i>Conclusions : différenciation des sols et âge des niveaux emboîtés</i> .....	105
C. — <i>La topographie de détail</i> .....	106
1. <i>Le profil calcaire</i> .....	106
a) <i>La morphologie et l'importance de l'horizon Bca</i> .....	106
b) <i>Les horizons Bca doubles et triples</i> .....	107
c) <i>L'épaisseur des horizons Aca</i> .....	109
2. <i>Le profil textural</i> .....	109
3. <i>Les autres caractères des sols</i> .....	110
III. — <i>La répartition des sols en fonction de l'occupation et de l'utilisation actuelle</i> .....	110
A. — <i>Les surfaces non cultivées</i> .....	111
B. — <i>Les surfaces irriguées</i> .....	111
DEUXIÈME PARTIE. — <i>LA PLACE DES SOLS A PROFIL CALCAIRE DIFFÉRENCIÉ DES PLAINES DE LA BASSE MOULOUYA DANS L'ENSEMBLE PÉDOLOGIQUE MAROCAIN</i> .....	113
Chapitre 5. — <i>Les sols des montagnes de la Basse Moulouya comparés à ceux des plaines</i> .....	115
I. — <i>Les sols fersiallitiques, rouges méditerranéens, sur calcaires et dolomies compacts</i> .....	116

1. Les profils calcaires .....	116
2. Les profils texturaux argileux .....	117
3. Les couleurs .....	117
4. Les profils structuraux .....	118
5. Le profil organique .....	118
6. L'état du fer .....	119
7. Le complexe adsorbant .....	120
8. Les minéraux argileux .....	120
II. — <i>Les sols fersiallitiques, rouges et bruns méditerranéens, sur flyschs pélitiques</i> .....	124
1. Les sols rouges à horizon d'accumulation de calcaire (Bca) et sans horizon A <sub>2</sub> .....	124
2. Les sols rouges sans horizon Bca et sans horizon A <sub>2</sub> ....	124
3. Les sols rouges et bruns à horizon A <sub>2</sub> .....	124
III. — <i>Les sols fersiallitiques, rouges, méditerranéens, sur grès</i> .....	127
IV. — <i>Les sols calcomagnésimorphes et les sols isohumiques</i> .....	129
V. — <i>Les sols minéraux bruts et les sols peu évolués</i> .....	132
VI. — <i>Conclusions</i> .....	134
Chapitre 6. — <i>Les sols à profil calcaire différencié dans les différentes régions du Maroc</i> .....	137
I. — <i>Les profils calcaires des sols marocains</i> .....	138
A. — <i>Les sols en place sur roche en place : différenciation du profil calcaire en fonction des roches et des climats</i> .....	138
1. Sur calcaires et dolomies compacts .....	138
2. Sur marnes .....	139
3. Sur grès calcaires .....	139
4. Sur les roches non calcaires et pauvres en calcium .....	140
5. Sur les roches non calcaires et riches en calcium .....	140
B. — <i>Les sols sur alluvions, colluvions et formations éoliennes finitertiaires et quaternaires</i> .....	140
1. L'horizon Bca .....	140
2. L'horizon Aca .....	141
3. L'horizon C .....	141
C. — <i>Conclusions</i> .....	141
II. — <i>Les profils texturaux des sols marocains</i> .....	142
1. Les sols à profil textural non différencié .....	143
2. Les sols à profil textural très différencié .....	143
3. Les sols à profil textural moyennement différencié	
a) Les sols non calcaires .....	144
b) Les sols calcaires, mais à profil calcaire non différencié	144
c) Les sols à profil calcaire différencié .....	144
III. — <i>Les principales catégories de différenciation pédologique d'après les profils calcaires et texturaux</i> .....	145
IV. — <i>Quelques données morphologiques et analytiques complémentaires sur les sols du Maroc à profil calcaire différencié et profil textural moyennement différencié</i> .....	146
A. — <i>Le profil des couleurs</i> .....	146

1. La coloration rouge .....	146
2. L'assombrissement des horizons de surface .....	147
3. Les vraies couleurs d'hydromorphie, de pseudo-gley .....	148
B. — Le profil structural .....	148
C. — Le profil organique .....	149
D. — Le profil ferrugineux .....	149
E. — La salure et l'alcalisation .....	150
F. — Les minéraux argileux .....	152
V. — <i>Conclusions</i> .....	153
TROISIÈME PARTIE. — L'INTERPRÉTATION PÉDOGÉNÉTIQUE DES FAITS .....	155
Chapitre 7. — <i>La formation au cours du Quaternaire des sols à profil calcaire différencié</i> ....	157
I. — <i>La mise en place des matériaux</i> .....	158
A. — L'origine des matériaux alluvionnés et colluvionnés : le rôle des sols .....	158
1. En Basse Moulouya .....	158
2. Dans l'ensemble du Maroc .....	158
3. Le Rharbien .....	159
B. — Les mécanismes de la mise en place des matériaux .....	159
1. Homogénéité et hétérogénéité des matériaux.....	159
2. Le stade de la mise en place rapide des matériaux .....	161
3. Le stade des déplacements lents : les remaniements .....	161
a) Les remaniements superficiels .....	161
b) Les remaniements internes.....	164
C. — Rôle des variations climatiques dans la mise en place des matériaux. Géomorphogenèse et pédogenèse : l'enchaînement des mécanismes .....	164
D. — <i>Conclusions</i> .....	165
II. — <i>Le développement du profil organique</i> .....	167
A. — Les sols à végétation forestière .....	167
B. — Les sols à végétation steppique.....	168
C. — Les sols cultivés sans irrigation : développement de l'isohumisme	168
D. — <i>Conclusions</i> .....	169
III. — <i>La différenciation du profil textural argileux</i> .....	169
IV. — <i>La différenciation du profil calcaire</i> .....	171
A. — Les principaux problèmes.....	171
B. — Synthèse des faits .....	172
C. — Interprétation des principaux mécanismes .....	173
1. Le transport oblique du calcaire par l'eau .....	173
2. Le développement de l'horizon Aca .....	174
a) Les mécanismes de l'appauvrissement en calcaire et de l'épaississement de l'horizon Aca .....	174
b) Les mécanismes de l'enrichissement en calcaire et de l'amincissement de l'horizon Aca .....	174
c) Les étapes du développement de l'horizon Aca .....	175

3. Le développement de l'horizon Aca .....	176
a) L'enrichissement en calcaire .....	176
b) La concentration du calcaire sous forme discontinue : formation des amas friables et des nodules .....	177
c) Le développement des encroûtements .....	178
D. — Conclusions .....	179
V. — <i>La salinisation et l'alcalisation des sols</i> .....	180
A. — Les mécanismes de la salinisation et de l'alcalisation sodique .....	180
B. — Les mécanismes de l'alcalisation magnésienne .....	181
C. — Conclusions .....	182
VI. — <i>L'évolution des minéraux argileux</i> .....	182
A. — L'évolution des minéraux argileux dans les sols des zones montagneuses de la Basse Moulouya .....	182
B. — L'évolution des minéraux argileux dans les dépôts quaternaires et dans les sols des plaines de la Basse Moulouya .....	183
1. La mise en place des matériaux .....	183
2. L'agradation des minéraux .....	183
3. La néoformation et la destruction de l'attapulgitite .....	183
C. — Conclusions .....	184
VII. — <i>L'évolution du fer et la rubéfaction</i> .....	185
VIII. — <i>Conclusions</i> .....	186
A. — Les mécanismes de la différenciation des sols .....	186
B. — Les facteurs de la différenciation des sols .....	189
C. — Actualité des mécanismes. Rôle du temps et des variations climatiques du passé quaternaire .....	190
D. — Le rôle des mécanismes pédologiques et des sols dans l'évo- lution du milieu au cours du Quaternaire .....	191
E. — Les critères d'une classification morphogénétique des sols à profil calcaire différencié .....	192
CONCLUSIONS GÉNÉRALES .....	195
Annexes. — <i>Description et analyse de quelques sols de la Basse Moulouya</i> .....	199
Méthodes d'analyses et légende des tableaux .....	199
I. — <i>Les sols de plaines : fiches n<sup>os</sup> 1 à 30</i> .....	203
A. — Les sols à profil calcaire non différencié : fiches n <sup>os</sup> 1 à 5 ..	204
B. — Les sols à profil calcaire peu différencié : fiches n <sup>os</sup> 6 et 7 ..	213
C. — Les sols à profil calcaire moyennement différencié : fiches n <sup>os</sup> 8 à 20 .....	219
D. — Les sols à profil calcaire très différencié : fiches n <sup>os</sup> 21 à 30 ....	243
II. — <i>Les sols de la montagne : fiches n<sup>os</sup> 31 à 42</i> .....	263
BIBLIOGRAPHIE .....	285

TABLE DES MATIÈRES .....	293
<i>Liste des figures</i> .....	293
<i>Liste des tableaux</i> .....	297
<i>Liste des planches photographiques</i> .....	297
<i>Table générale des matières</i> .....	298



A C H E V É D'IMPRIMER  
SUR LES PRESSES DES  
IMPRIMERIES RÉUNIES  
DE C H A M B É R Y  
3, RUE LAMARTINE, 3  
EN DÉCEMBRE MCMLXXI

Les Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer tendent à constituer une documentation scientifique de base sur les zones intertropicales et méditerranéennes et les problèmes que pose le développement des pays qui s'y trouvent.

## CAHIERS ORSTOM.

### — Séries périodiques :

- **entomologie médicale et parasitologie** : articles relatifs à l'épidémiologie des grandes endémies tropicales transmises par des invertébrés, à la biologie de leurs vecteurs et des parasites, et aux méthodes de lutte.
- **géologie** : études sur les trois thèmes suivants : altération des roches, géologie marine des marges continentales, tectonique de la région andine.
- **hydrobiologie** : études biologiques des eaux à l'intérieur des terres, principalement dans les zones intertropicales.
- **hydrologie** : études, méthodes d'observation et d'exploitation des données concernant les cours d'eau intertropicaux et leurs régimes en Afrique, Madagascar, Amérique du Sud, Nouvelle-Calédonie...
- **océanographie** : études d'océanographie physique et biologique dans la zone intertropicale, dont une importante partie résulte des campagnes des navires océanographiques de l'ORSTOM ou utilisés par lui.
- **pédologie** : articles relatifs aux problèmes soulevés par l'étude des sols des régions intertropicales et méditerranéennes (morphologie, caractérisation physico-chimique et minéralogique, classification, relations entre sols et géomorphologie, problèmes liés aux sels, à l'eau, à l'érosion, à la fertilité des sols) ; résumés de thèses et notes techniques.
- **sciences humaines** : études géographiques, sociologiques, économiques, démographiques et ethnologiques concernant les milieux et les problèmes humains principalement dans les zones intertropicales.

### — Séries non périodiques :

- **biologie** : études consacrées à diverses branches de la biologie végétale et animale.
- **géophysique** : données et études concernant la gravimétrie, le magnétisme et la sismologie.

**MÉMOIRES ORSTOM** : consacrés aux études approfondies (synthèses régionales, thèses...) dans les diverses disciplines scientifiques (44 titres parus).

**ANNALES HYDROLOGIQUES D'OUTRE-MER** : depuis 1959, deux séries sont consacrées : l'une, aux Etats africains d'expression française et à Madagascar, l'autre aux Territoires et Départements français d'Outre-Mer.

**FAUNE TROPICALE** : ouvrages concernant l'Afrique du Nord, l'Afrique tropicale, Madagascar, la Réunion et la partie orientale de l'Atlantique tropical (18 titres parus).

**INITIATIONS/DOCUMENTATIONS TECHNIQUES** : mises au point et synthèses au niveau, soit de l'enseignement supérieur, soit d'une vulgarisation scientifiquement sûre (15 titres parus).

**TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'ORSTOM** : cette collection, très souple dans ses aspects et ses possibilités de diffusion, a été conçue pour s'adapter à des textes scientifiques ou techniques très divers par l'origine, la nature, la portée dans le temps ou l'espace, ou par leur degré de spécialisation (6 titres parus).

**L'HOMME D'OUTRE-MER** : exclusivement consacrée aux sciences de l'homme, cette collection est maintenant réservée à des auteurs n'appartenant pas aux structures de l'ORSTOM (13 ouvrages parus).

De nombreuses **CARTES THÉMATIQUES**, accompagnées de **NOTICES**, sont éditées chaque année, intéressant des domaines scientifiques ou des régions géographiques très variées.

**BULLETINS ET INDEX BIBLIOGRAPHIQUES** : Bulletin analytique d'entomologie médicale et vétérinaire (mensuel) et Index bibliographique de botanique tropicale (trimestriel).

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Direction générale

24, rue Bayard, PARIS-8<sup>e</sup>

Service Central de Documentation

70-74, route d'Aulnay, 93-BONDY, FRANCE

---

Imprimeries Réunies de Chambéry, Chambéry (FRANCE)  
O.R.S.T.O.M. Editeur

Dépôt légal : 1<sup>er</sup> trim. 1972